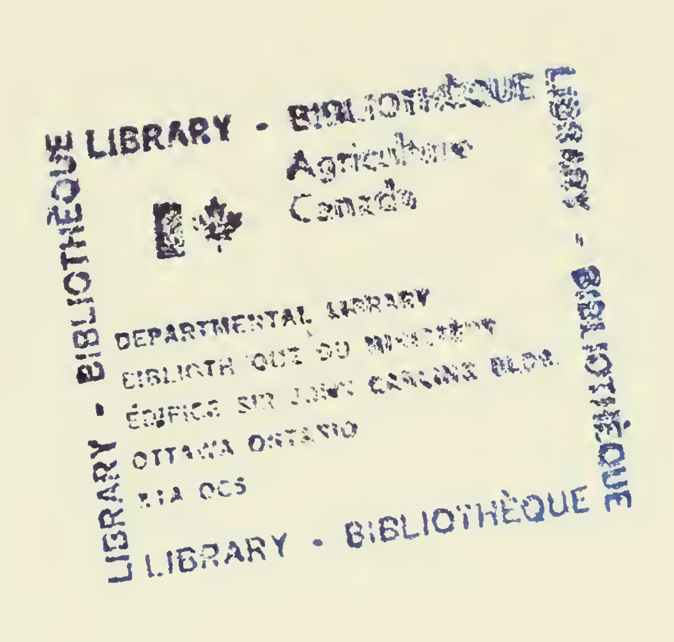


Manutention de produits agricoles

Transporteurs à vis et élévateurs à godets

Canada



Manutention de produits agricoles

Transporteurs à vis et élévateurs à godets

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada

Publication 1834/F
1989

Nº de cat. A-15-1834/1989F
ISBN 0-660-92660-1
Imprimé, 1989

En vente au Canada par l'entremise de nos Agents libraires agréés et autres librairies ou par la poste au :

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

Prix sujets à changement sans préavis

Publié aussi en anglais sous le titre
Canadian Agricultural Materials Handling Manual.
2.3 Screw and Bucket Conveyors.

Publication nº 5002 d'Agriculture Canada.
Guide canadien de la manutention des produits agricoles.
2.3, Transporteurs à vis et élévateurs à godets.

Données de catalogage avant publication (Canada)
Manutention des produits agricoles : transporteurs à vis et élévateurs à godets

(Publication ; no 1834/F)

Publication antérieurement : Guide canadien de la manutention de produits agricoles. 2.3 Transporteurs à vis et élévateurs à godets.
Publié aussi en anglais sous le titre : Handling agricultural materials, screw and bucket conveyors.
Bibliogr.: p.

Convoyeurs à vis. 2. Convoyeurs. 3. Exploitations agricoles–Equipement. I. Rousseau, Normand, 1951- II. Heslop, L. III. Canada. Agriculture Canada. Direction générale de la recherche. IV. Collection: Publication (Canada. Agriculture Canada). Français; 1834/F.

TJ1390.H3614 1989 621.8'67 C89-099208-8

Rédacteur-éditeur
Normand Rousseau

Conseiller scientifique chargé de la recherche sur les contrats
L. Heslop
Centre de recherches techniques et de statistiques

TABLE DES MATIÈRES

Tableaux

Figures

AVANT-PROPOS

La manutention des produits agricoles est publiée en plusieurs parties à titre de guide pour les concepteurs de systèmes de manutention des produits destinés aux exploitations agricoles et aux industries connexes. Chaque section porte sur le choix et la conception de divers types d'équipement destiné à la manutention et au traitement des produits. Les appareils peuvent fonctionner indépendamment ou dans le cadre d'un système. Si on veut concevoir un système complet, il faudra consulter plusieurs sections du présent guide.

La présente section a été élaborée par la société UMA Engineering Ltd. de Winnipeg (Man.) pour le compte du Comité canadien du génie rural, Comité de coordination des services agricoles du Canada.



1 TRANSPORTEURS À VIS

Les transporteurs à vis constituent l'une des méthodes les plus anciennes et les plus simples de manutention des produits en vrac. Ils se composent principalement d'une vis sans fin qui tourne dans une auge ou un tube fixe. La rotation de la vis, qui est soutenue par des tourillons à bride, déplace les produits le long de l'auge. Des trémies, des goulottes, des plateaux et autres accessoires permettent de diriger et de vider les produits. On trouve à la figure 1 une représentation type d'un transporteur à vis.

Prenant peu de place et facile à ranger, les transporteurs à vis peuvent être montés horizontalement, verticalement ou à un angle quelconque. Les supports connexes sont simples et s'installent facilement. On peut sceller les transporteurs afin d'empêcher la poussière et les émanations de s'en échapper et pour les rendre étanches aux saletés et à l'humidité. Les transporteurs à vis munis d'une gaine peuvent servir de dessiccateurs ou de refroidisseurs. Ils peuvent également être fabriqués à même une vaste gamme de matériaux appropriés; ils résistent alors à la corrosion, à l'abrasion ou aux dommages causés par la chaleur. On trouve le transporteur à auge sur roues (fig. 2), dans la plupart des exploitations agricoles de l'Occident.

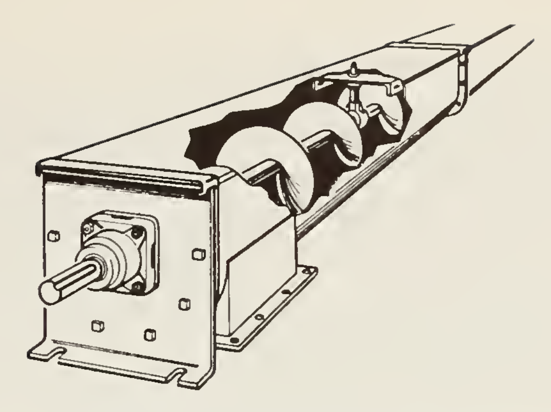


Figure 1 Transporteur à vis type
Source : *Screw conveyor engineering catalog no. 7700*

1.1 Distributeurs à vis

Les distributeurs à vis, qui sont des transporteurs à vis modifiés, permettent de contrôler l'écoulement de produits provenant de trémies installées sur camion, de trémies d'entreposage, de compartiments ou de citernes. Ils fonctionnent à vitesse constante ou variable, ce qui permet de les utiliser pour la manutention d'une grande variété de produits, qu'il s'agisse de farine finement moulue ou de moulées plus grossières. Utilisés également comme soupapes, ces distributeurs permettent de contrôler l'écoulement d'un produit.

Les distributeurs à vis, de conception simple, prennent peu de place, sont complètement fermés et à l'épreuve de la poussière. L'installation, le fonctionnement et l'entretien sont également économiques.

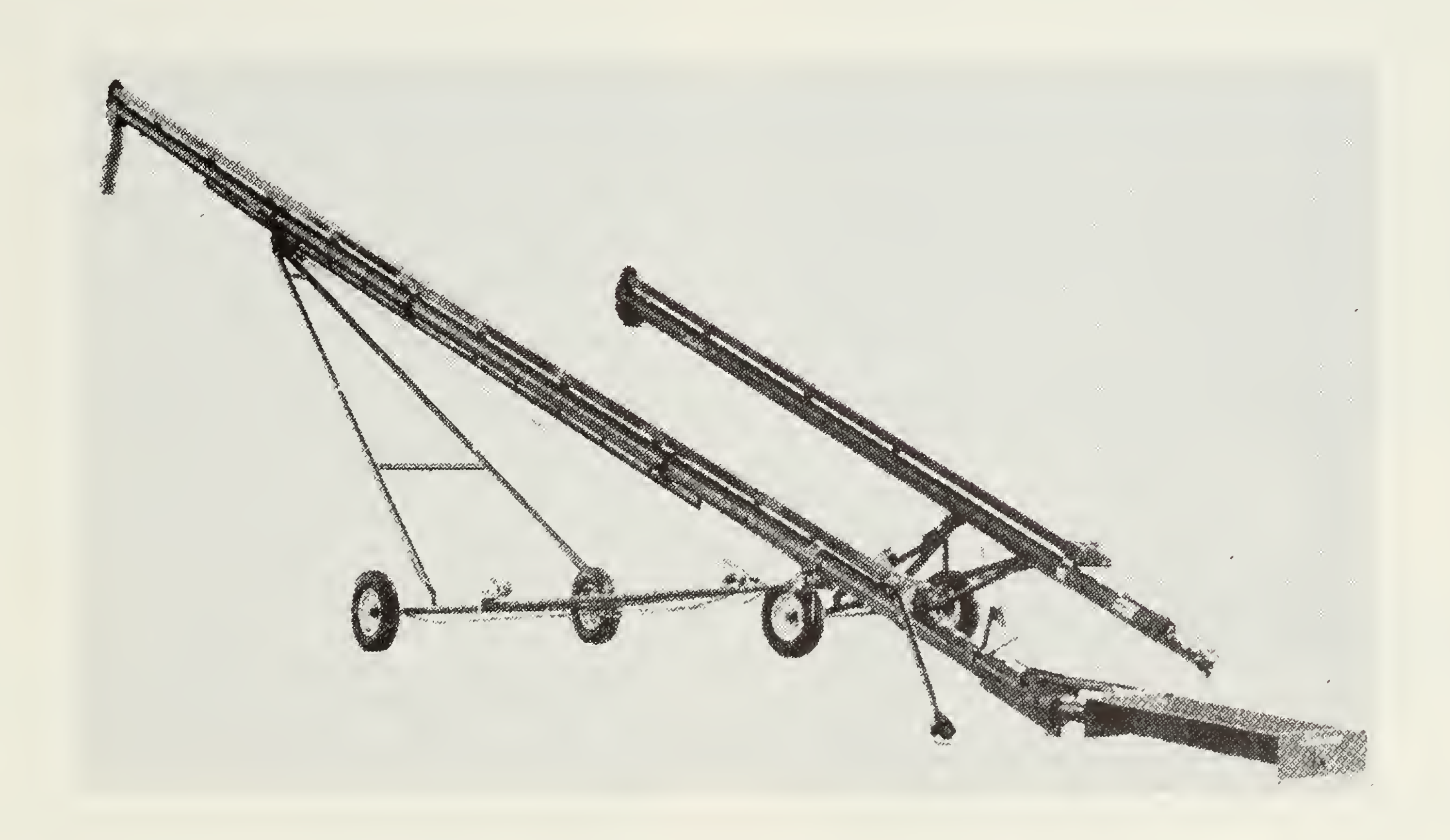


Figure 2 Transporteurs à auge portable avec trémie d'alimentation (photo : Kervance Machinery Division Chromalloy)

1.2 **Abouts d'auge et brides**

Les abouts d'auge permettent de soutenir l'arbre d'entraînement et les arbres sortants des transporteurs; des brides permettent d'en assujettir les raccords. Grâce à ces composantes, il est possible de maintenir l'alignement et les jeux appropriés entre la vis et l'auge du transporteur. La figure 3 illustre la disposition des abouts d'auge et des brides dans un transporteur à vis type.

Les bagues d'étanchéité des abouts sont assemblées entre le coussinet à bride et l'about. Ces bagues d'étanchéité protègent l'arbre d'entraînement et les paliers extérieurs des produits manutentionnés.

1.3 **Type de vis de transporteurs**

Il existe douze types de vis de transporteurs couramment utilisées en agriculture.

- à spire hélicoïdale
- à spire sélectionnée
- à pas serré
- à spire conique
- à diamètre étagé
- à pas variable
- à pas allongé
- à hélice double
- à hélice double et à pas serré
- à ruban
- résistant à l'abrasion
- résistant à la corrosion

1.4 *Vis de transporteur à spire hélicoïdale* Ce type de vis est composé d'une hélice profilée à partir d'une bande d'acier méplat et montée sur un tuyau ou un arbre (fig. 4). Des laminoirs spéciaux permettent de former l'hélice selon le diamètre, le pas et l'épaisseur appropriés et assurent une spire régulière, continue et d'une seule venue. Le laminage permet également de durcir et d'adoucir les surfaces de la spire.

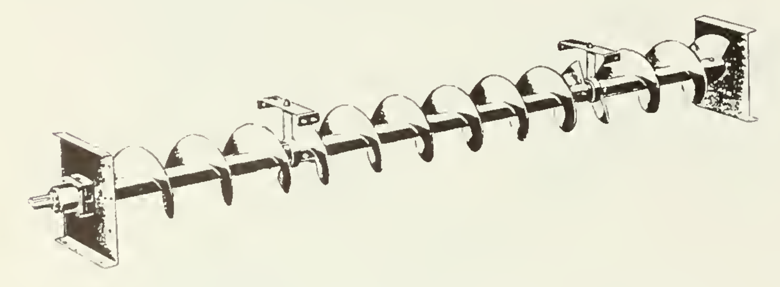


Figure 3 Emplacements des abouts d'auge et des brides
Source : *Syntron and link-belt material handling equipment*



Figure 4 Spire hélicoïdale
Source : *Syntron and link-belt material handling equipment*

Ce type de construction en une seule pièce donne aux vis à spire hélicoïdale une résistance supérieure. Comme il n'y a pas de joints, de rivets ou de soudure sur la face transporteuse de la spire, celle-ci reste propre et s'use moins. La surface unie permet également de réduire le frottement et la consommation d'énergie.

L'assemblage d'une vis de transporteur à spire hélicoïdale est une construction solide, exceptionnellement durable et, grâce à son équilibre intrinsèque, peut fonctionner à haute vitesse. De plus, si la spire est soudée d'un bout à l'autre de l'arbre sur une face ou les deux, la vis peut déplacer des charges très lourdes.

1.5 *Vis de transporteur à spire sélectionnée* Ce type de vis est constitué de spires individuelles, chacune laminée d'une bande d'acier méplat et formée en hélice (fig. 5). Chaque spire est soudée en bout et fixée au tuyau ou à l'arbre par des soudures intermittentes ou continues. Des pattes de fixation en acier laminé permettent d'augmenter la force des joints de la spire. Le pas des spires bout à bout est à peu près égal au diamètre.

Il existe une gamme variée de diamètres, de pas et d'épaisseurs de spires sélectionnées. Elles peuvent remplacer les vis hélicoidales des transporteurs du même diamètre et ayant un arbre de même dimension.

1.6 *Vis de transporteur à pas serré* Ce type de vis de transporteur diffère des vis courantes uniquement par le pas de la spire. Elles sont utiles dans les transporteurs inclinés à 20 ° ou plus y compris les transporteurs verticaux. Ces vis sont utilisées couramment dans les distributeurs à vis et permettent d'empêcher l'écoulement des produits fluides dans des transporteurs arrêtés.

1.7 *Vis de transporteur à spire conique* Le diamètre de ce type de vis augmente dans le



Figure 5 Spire sectionnée
Source : *Syntron and link-belt material handling equipment*

sens d'écoulement du produit. Elles sont utilisées pour déplacer les matériaux friables et grossiers qui proviennent de compartiments ou de trémies. Ce type de vis permet également une alimentation régulière le long de la trémie prévue à cette fin.

1.8 *Vis de transporteur à diamètre étagé* Ce type de vis se compose de spires à pas réguliers de différents diamètres rattachées les unes aux autres sur un même tuyau ou arbre. Ces vis donnent presque le même rendement que les vis à pas conique, mais la fabrication en est moins coûteuse. Elles peuvent être utilisées dans les distributeurs à vis, la partie ayant le plus petit diamètre permettra de régler l'écoulement des produits sous les compartiments ou les trémies.

1.9 *Vis de transporteur à pas variable* Il s'agit de vis ayant des spires sectionnées dont le pas augmente le long de l'arbre. Elles peuvent être utilisées dans les distributeurs pour prélever uniformément, le long d'une ouverture d'alimentation, des produits fins qui s'écoulent librement.

1.10 *Vis de transporteur à pas allongé* Il s'agit d'un type de vis peu commun; elle peut être utilisée comme agitateur de liquide ou pour le déplacement de produits qui s'écoulent librement.

1.11 *Vis de transporteur à double spire* Il s'agit de vis ayant deux hélices rattachées à un seul arbre. Leur pas est régulier et elles permettent l'écoulement et le vidage uniforme et mesuré des produits.

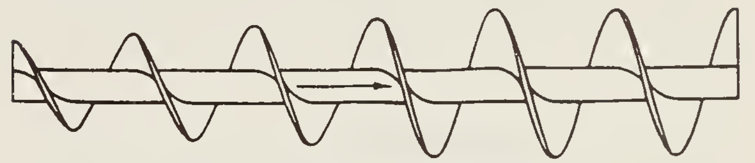
1.12 *Vis de transporteur à double spire et à pas serré* Les vis de transporteurs à double spire et à pas serré peuvent être utilisées pour régulariser de façon précise l'écoulement des moulées dans les distributeurs à vis. Elles empêchent également l'écoulement des matériaux fluides dans des distributeurs arrêtés.

La figure 6 illustre les six types de vis précédents.

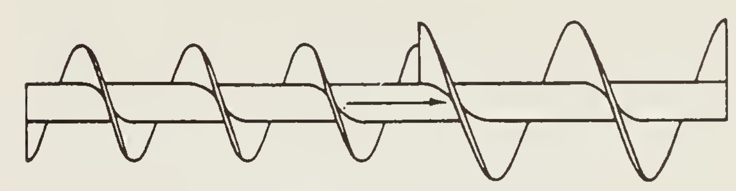
1.13 *Vis de transporteur à ruban* Ce type de vis est muni de pattes de fixation d'acier soudées sur une barre d'acier méplat laminé en forme de spire hélicoidale continue. (fig. 7).

Ce type de vis peut servir pour le déplacement de matériaux collants, agglutinants ou visqueux. La construction ouverte de ce type de vis empêche les produits de coller aux points de contact de la spire et du tuyau, et de s'agglutiner. Les vis à ruban sont en général utilisées pour la manutention du sucre brut, de la mélasse, de l'asphalte, du goudron chaud,des mélanges de moulées agglutinantes et d'autres matériaux semblables.

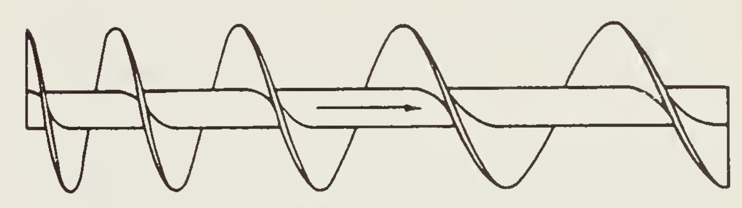
Dans les cas où les produits se déplacent le long de la vis, la vis à ruban a une capacité de transport légèrement différente de celle des vis à spire pleine de même diamètre. Ce type de vis mélange très peu les produits; il faut les mélanger par un autre moyen.



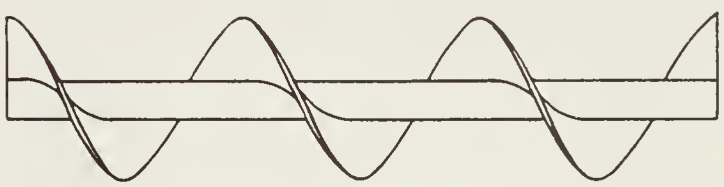
vis de transporteur à spire conique



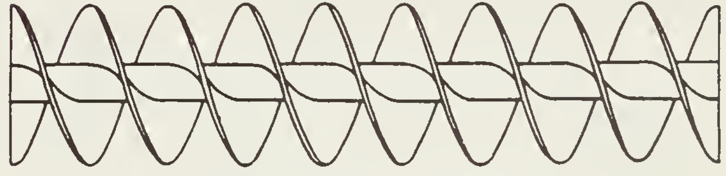
vis de transporteur à diamètre étagé



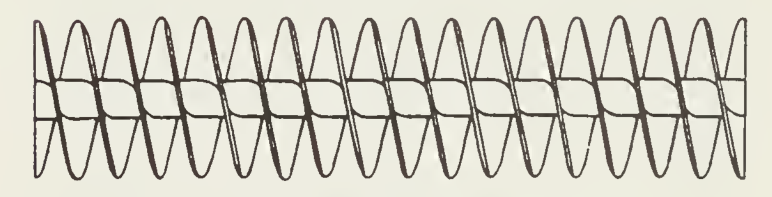
vis de transporteur à pas variable



vis de transporteur à pas allongé



vis de transporteur à double spire



vis de transporteur à double spire et pas serré

Figure 6 Types de spires
Source : *Syntron and link-belt material handling equipment*

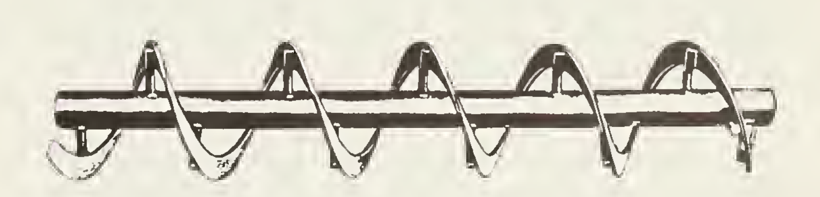


Figure 7 Vis à ruban pour matériaux agglutinants
Source : Syntron and link-belt material handling equipment

1.14 *Vis de transporteur résistant à l'abrasion* Parce que les matériaux abrasifs en mouvement causent une usure sérieuse aux spires, on a tenté à maintes reprises d'en construire qui résistent à cette usure. Plusieurs méthodes ont été élaborées, chacune offrant des avantages précis compte tenu de la nature du produit manutentionné et de l'utilisation de l'appareil.

Dans le cas des applications en agriculture, la technique la plus courante utilisée pour protéger les vis de transporteurs contre l'abrasion est le revêtement dur. Cette méthode consiste à appliquer, au moyen d'un poste de soudage à arc ou d'un chalumeau, un alliage spécial sur la périphérie ou la face de la spire. Cette application permet d'obtenir une surface exceptionnellement dure aux points d'usure maximale.

1.15 *Vis de transporteur résistant à la corrosion* Comme il existe plusieurs types de corrosion, aucun produit ne peut répondre à toutes les exigences. Cependant, les vis de transporteurs en acier inoxydable, en alliage Monel ou en aluminium résistent le mieux à la corrosion qui se produit dans la plupart des exploitations agricoles.

La galvanoplastie et autres méthodes semblables de protection permettent d'enrayer la corrosion légère. Une couche de caoutchouc vulcanisé ou collé sur toute la surface du transporteur permet en général à la vis de résister à une corrosion extrême.

1.16 Arbres d'entraînement, arbres sortants et raccords

Il faut concevoir l'arbre d'entraînement du transporteur pour qu'il puisse résister adéquatement au couple, à la flexion et au cisaillement, et en contrôler les tolérances de façon serrée afin d'assurer le jeu approprié des roulements.

Dans le cas des transporteurs très longs ou des charges très lourdes, il faut utiliser des aciers alliés, des aciers trempés à haute teneur en carbone ou des raccords d'arbre à trois boulons.

Les raccords de transporteurs permettent de raccorder et d'espacer les sections juxtaposées des vis. Ils permettent également de transmettre le couple (fig. 8).

Les raccords d'hélice à plusieurs éléments et les raccords à montage rapide permettent l'installation ou les démontages de certaines sections de vis de transporteur sans que les autres sections ne soient déplacées. Les raccords à plusieurs éléments permettent de joindre deux sections de vis et peuvent être enlevés pour permettre le démontage sans déplacer les brides (fig. 9). Les raccords à montage rapide sont semblables, cependant ils ne portent pas sur les deux sections. Ces deux types de raccords sont disponibles pour les vis à spires hélicoidales et à spires sectionnées.

L'hélice du transporteur à vis peut être soutenue à l'aide de tourillons et de brides montés dans des supports intermédiaires. Ils sont fixés au côté ou au bord plié supérieur de l'auge. Les supports comportent des trous de montage allongés qui permettent le réglage et l'alignement des roulements. Il existe plusieurs sortes de supports disponibles. La figure 10 en illustre divers types.

1.17 Abouts d'auge

Les abouts prévus pour les auges en U ou les auges évasées sont faits de tôle d'acier épaisse. Le haut est muni d'une aile qui permet de soutenir le couvercle de l'auge. Ces abouts sont disponibles avec ou sans piètement. La figure 11 illustre quelques exemples d'abouts d'auge.

1.18 *Abouts d'auge pour arbres porte-hélice* Chaque about d'auge comporte un arbre rigide qui tourne dans un roulement. Ces abouts peuvent comporter des roulements doubles à billes ou des roulements doubles à rouleaux. Les roulements doivent être conçus afin de résister aux charges radiales et axiales (fig. 12). Une chaîne d'entraînement raccordée au moteur constitue en général la source des

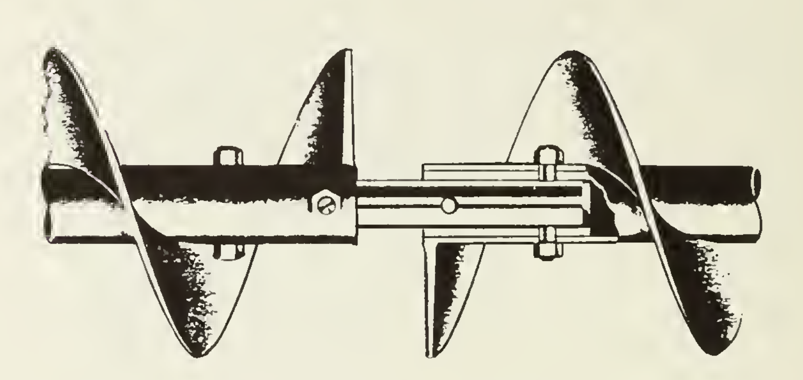


Figure 8 Raccord d'arbre de transporteur
Source : ***Syntron and link-belt material handling equipment***

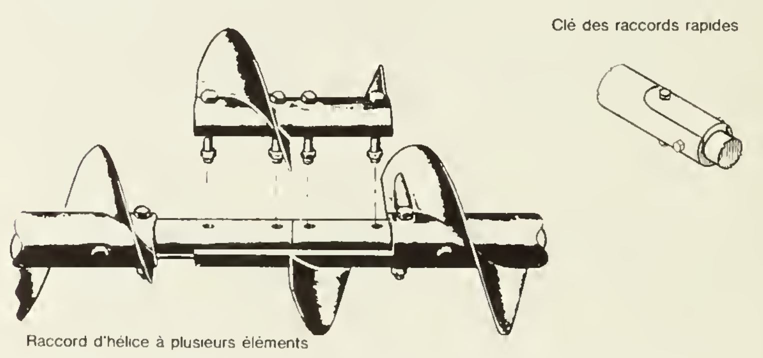


Figure 9 Raccord d'hélice à plusieurs éléments et raccords rapides
Source : ***Syntron and link-belt material handling equipment***

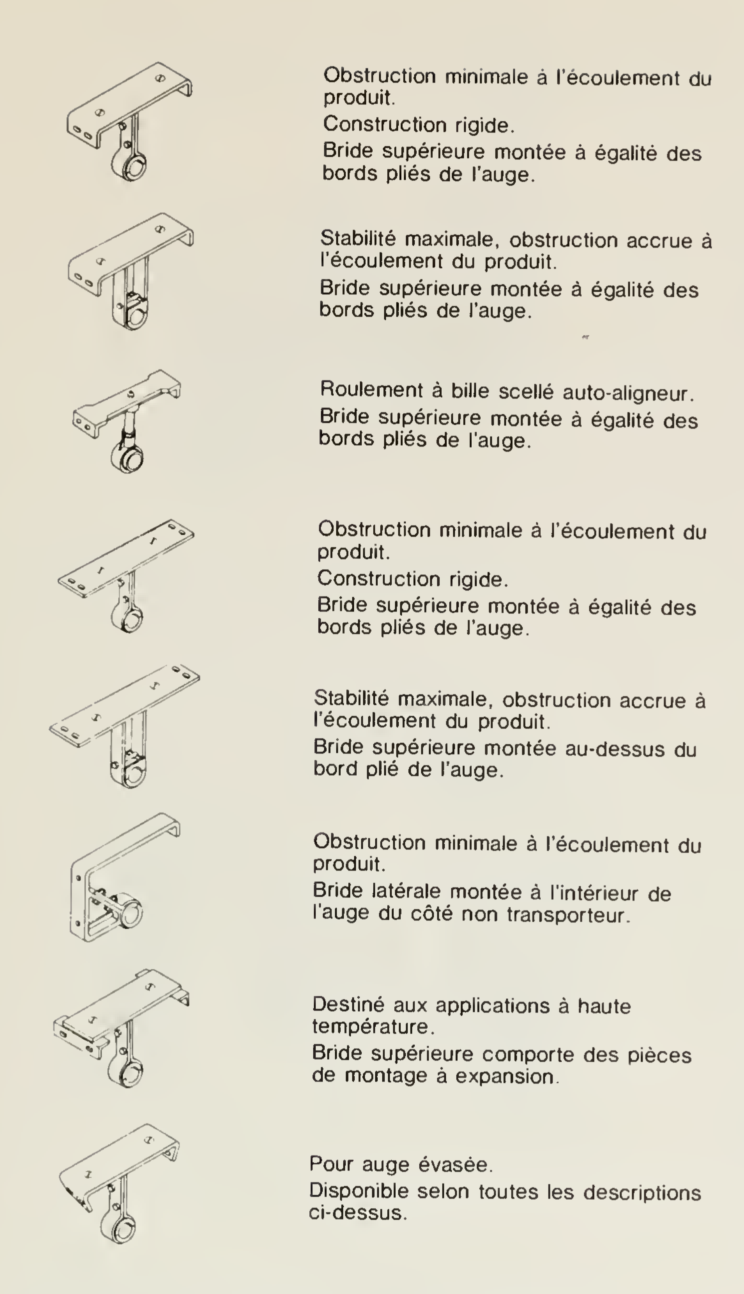


Figure 10 Raccords d'arbre porte-hélice
Source : ***Screw conveyor engineering catalog no. 7700***

charges radiales ou en porte à faux. Les charges axiales, dans l'une ou l'autre direction, proviennent des forces nécessaires au déplacement des produits dans le transporteur.

1.19 *Abouts d'auge à motoréducteur* Utiliser ce type d'about d'auge là où un entraînement à angle droit est nécessaire, compte tenu des espaces exigus, de l'interférence du matériel environnant ou pour avoir un accès plus aisé lorsqu'on effectue les services d'entretien.

L'utilisation de ce système d'entraînement permet l'installation à côté, au-dessus ou en dessous du transporteur. Il est également possible d'utiliser l'entraînement horizontal sur les transporteurs inclinés. On peut prévoir un entraînement commun pour deux transporteurs à angle droit ou pour un groupe de transporteurs parallèies entraînés à partir d'une source motrice commune.

1.20 *Abouts d'auge pour motoréducteur à carter étanche* Ces dispositifs assurent une bonne durée de vie ainsi qu'une meilleure sécurité contre les ruptures de roulement. Les engrenages fonctionnent constamment dans un bain d'huile, la poussière et le gravier étant exclu. Ce type de montage permet d'assurer une durée maximale de vie aux engrenages (fig. 13).

1.21 Tronçons d'auge

Les tronçons d'auge sont en général reliés par des bords pliés et boulonnés ou par des embouts soudés. Les raccords à bords pliés se sont révélés les plus pratiques et les plus efficaces. Les bords pliés peuvent être utilisés sur les auges de 300 millimètres. Pour les auges qui ont 350 millimètres et plus, il faut des brides rapportées en acier méplat.

Les piètements en acier formé, utilisés comme abouts, assurent un appui approprié au transporteur. Les pièces de renfort fixées ailleurs qu'aux points de raccord d'ailes offrent une meilleure résistance.

Les couvercles d'auge permettent de retenir la poussière et de protéger autant le personnel que les produits déplacés. Choisir des couvercles unis, à bords pliés, semi-pliés ou à l'épreuve de la poussière et les fixer à l'auge à l'aide de boulons, de serre-joints ou d'étriers à ressort.

1.22 *Presse-étoupe et joints d'abouts d'auge* Les presse-étoupe et les joints d'abouts d'auge protègent les roulements de la poussière ou des émanations provenant de l'auge. Ils empêchent également la poussière ou l'humidité de pénétrer le long de l'arbre.

1.23 *Auges* Les auges servent surtout à confiner et à guider l'écoulement du produit. Cependant, elles contiennent et soutiennent également les pièces mobiles; elles les relient les unes aux autres pour assurer un bon fonctionnement de l'ensemble. Les auges se présentent sous diverses formes (fig. 14).

En général, on utilise de l'acier doux pour fabriquer les auges, mais on peut utiliser aussi de l'acier inoxydable, de l'aluminium, du laiton, du bronze, du cuivre, de l'alliage Monel ou du nickel. Avec des produits corrosifs ou à haute température, il faut utiliser les auges en acier inoxydable ou en métal non ferreux.

1.24 *Auges à bords pliés* Afin d'obtenir force et rigidité, sans masse ou poids superflus, il faut former le bord supérieur et les parois latérales de l'auge à l'aide d'une seule tôle d'acier; c'est ce qu'on appelle l'auge à bord plié. Il faut ensuite bien souder les ailes de raccord à chaque bout. Cette fabrication assure l'alignement approprié des tronçons d'auge et en préserve la forme.

	AUGE PROFILÉE EN U	AUGE TUBULAIRE	AUGE ÉVASÉE	AUGE RECTANGULAIRE	
ABOUT D'AUGE AVEC EMBASE	Type CEF	Type CEFT	Type CEFV	–	Couramment utilisée. Le bord plié inférieur assure le soutien du transporteur.
ABOUT D'AUGE SANS EMBASE	Type CE	Type CET	Type CEV	–	Requiert l'installation de piètements ou d'étriers à bride pour le soutien du transporteur.
ABOUT D'AUGE AVEC PALIER POUR ARBRE SORTANT	Type CEO	Type CEOT	Type CEOV	–	Un support est fixé à l'about d'auge pour porter un palier chapeau. Il y a suffisamment d'espace prévu pour monter un roulement scellé ou un tourillon à bride entre l'about d'auge et le palier chapeau.
ABOUT D'AUGE CREUX	Type CEI	–	–	Type CEW	Pour l'installation à l'intérieur.
ABOUT D'AUGE D'ÉVACUATION	Type CED	–	Type CEDV	Type CED	Permet l'évacuation du produit au bout de l'auge.

Figure 11 Abouts d'auges
Source : *Screw conveyor engineering catalog no. 7700*

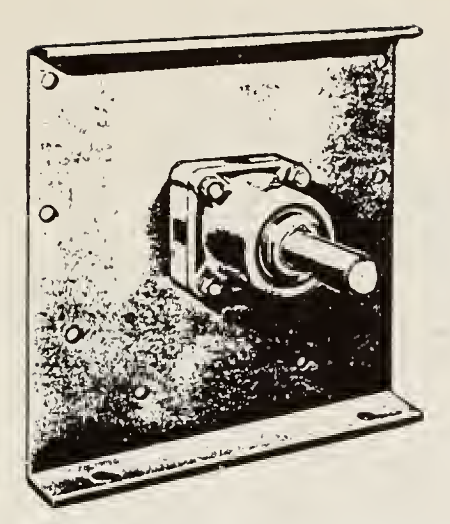


Figure 12 Abouts d'auges à arbre sortant
Source : ***Syntron and link-belt material handling equipment***

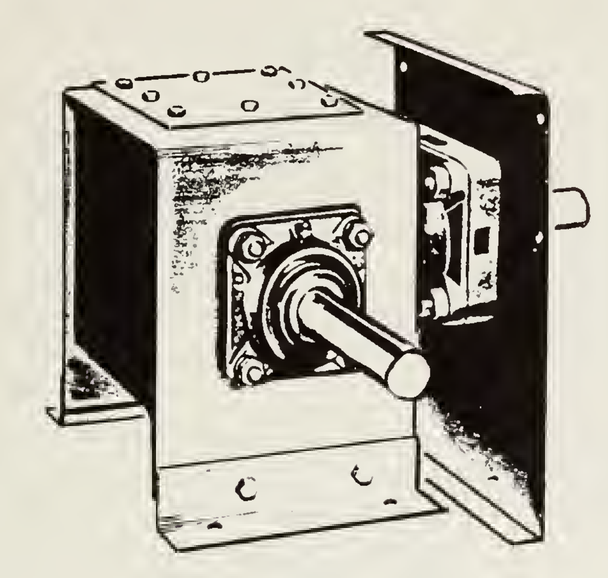


Figure 13 Abouts d'auges pour motoréducteur à carter étanche
Source : ***Syntron and link-belt material handling equipment***

1.25 *Auges à cornières* Il s'agit d'une auge qui est semblable à l'auge à bord plié, cependant, les bords sont formés de cornières d'acier soudées à l'auge.

1.26 *Auges et couvercles à joints à l'épreuve de la poussière* Des bords pliés en Z et des traverses formées en U constituent une cannelure continue sur le pourtour supérieur de l'auge dans laquelle le couvercle peut être déposé. Cette cannelure se remplit alors de sable ou de la poussière provenant des produits transportés et crée un joint efficace.

1.27 *Auges évasées* Les parois latérales supérieures de l'auge sont évasés, ce qui créé une ouverture plus large que celle d'une auge courante. Cette forme permet d'améliorer l'alimentation et le déplacement, surtout des produits qui s'agglutinent ou ne s'écoulent pas librement. Il est recommandé d'utiliser ce type d'auge avec des vis de transporteur à ruban.

1.28 *Auges à fond ouvrant* Le fond ouvrant a en général des charnières et est retenu par des étriers à ressort ou des serre-joints à came. Cette conception permet un accès facile (pour le service ou l'entretien) à l'intérieur de l'auge, à la vis du transporteur et aux supports.

1.29 *Auges à double enveloppe* Il s'agit d'une auge courante comportant une double enveloppe soudée en continue. Ce type d'auge peut servir dans les cas où il est nécessaire de chauffer, de sécher ou de refroidir les produits. Des joints pour tuyauterie permettent d'alimenter et de vider les produits chauffant ou réfrigérant qui circulent dans la paroi double.

1.30 *Auges rectangulaires* Ce type d'auge permet en général de déplacer des produits abrasifs puisque ces produits s'accumulent en une couche au fond de l'auge. Le produit se déplace donc sur lui-même, ce qui protège l'auge d'une usure excessive. Compte tenu des dimensions et de l'épaisseur du métal, on peut utiliser une seule tôle pour faire une auge rectangulaire ou des pièces distinctes pour le fond et les parois latérales.

Cependant, ce type d'auge est rarement utilisé dans des exploitations agricoles.

1.31 *Auges profilées en U* Ce type d'auge est fabriqué à partir de fonds d'auge distincts et détachables boulonnés ou assemblés à l'aide de serre-joints à des pièces d'acier profilé en U. Les tronçons profilés sont de longueur nécessaire pour se raccorder à des supports assez éloignés l'un de l'autre. Les fonds d'auge se limitent à une longueur maximale de 3,7 mètres.

De même que les auges rectangulaires, les auges profilées en U sont rarement utilisées dans les exploitations agricoles.

1.32 *Régulateurs* Les sections d'auge profilées en U des distributeurs à vis doivent comporter des dispositifs permettant de régulariser l'alimentation. Les régulateurs sont utilisés à cette fin en diminuant l'espace entre le couvercle et la vis du distributeur (fig. 15).

1.33 *Goulottes de sortie et plateaux* Les produits transportés sont vidés des auges ou s'acheminent dans d'autres dispositifs à l'aide de goulottes de sortie et de plateaux.

Les plateaux permettent de contrôler de façon sélective les ouvertures de vidage. On peut utiliser des plateaux coulissants ou des plateaux à crèmaillère puisqu'ils se prêtent à presque toutes les applications et peuvent être montés parallèlement ou perpendiculairement au transporteur. Les plateaux sont actionnés à l'aide de commandes hydrauliques, électriques ou pneumatiques.

1.34 *Trémies d'alimentation et tubulures de sortie* Les trémies d'alimentation et les tubulures de sortie peuvent être de conception unie ou à bords pliés et peuvent être montées

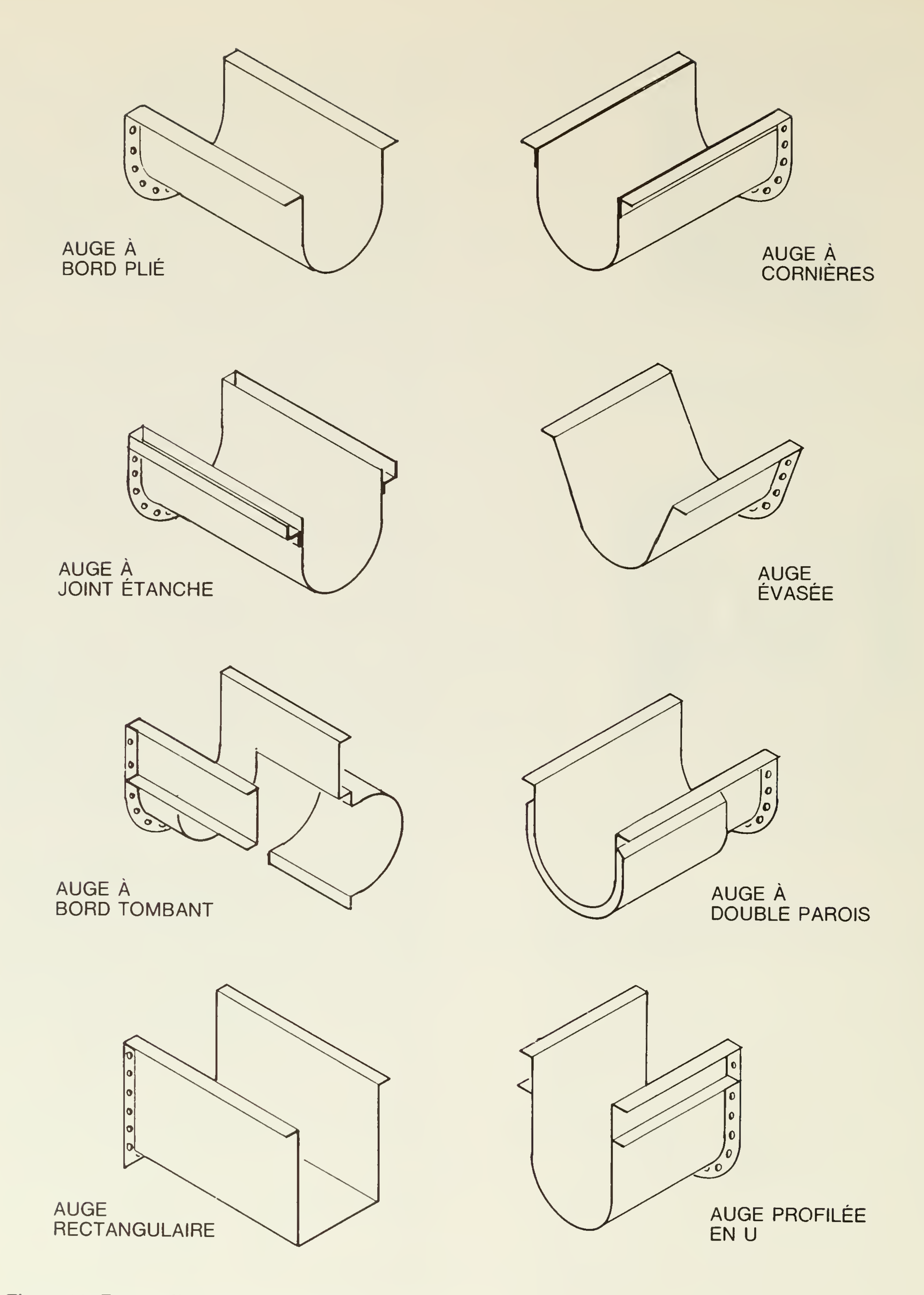


Figure 14 Formes d'auges
Source : ***Screw conveyor engineering catalog no. 7700***

presque n'importe où sur le transporteur (fig. 16). La distance entre la trémie d'alimentation et l'about d'alimentation du transporteur doit être au moins égale au diamètre du transporteur afin de protéger les roulements.

1.35 *Plateaux coulissants* Les plateaux coulissants sont montés sous les goulottes de sortie et la commande se situe sur l'une ou l'autre des quatre faces. Il faut cependant prévoir suffisamment de jeu entre les plateaux ouverts

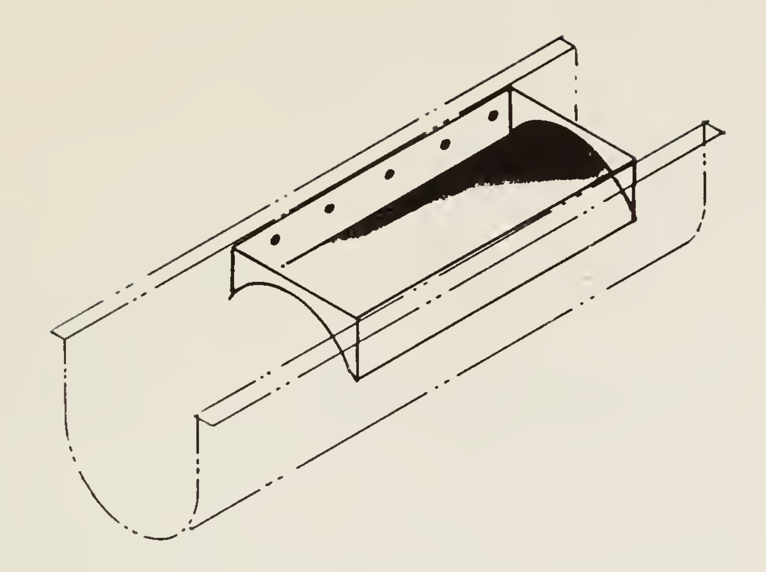


Figure 15 Auges en U

et la commande, si cette dernière est utilisée (fig. 17).

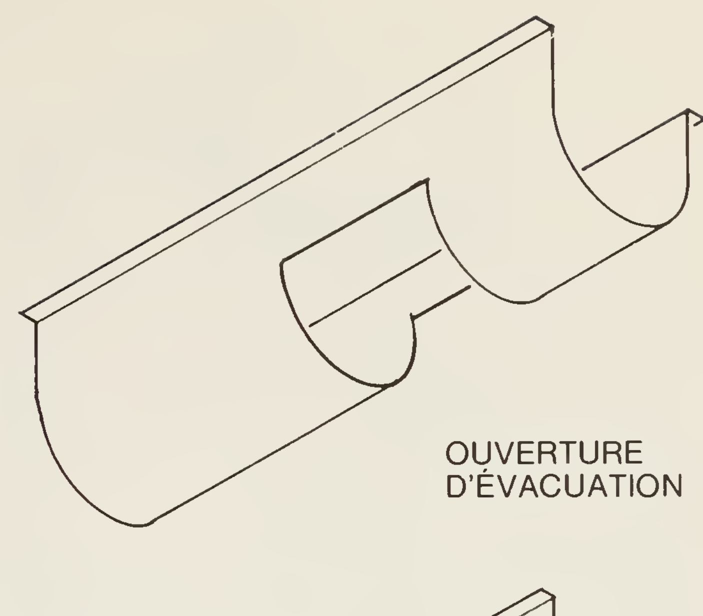
1.36 *Plateaux à crémaillère* Ce type de plateau comporte une crémaillère à dents usinées soudée au plateau coulissant. Un engrenage à dents usinées sur un arbre permet de glisser le plateau parallèlement au transporteur (fig. 18).

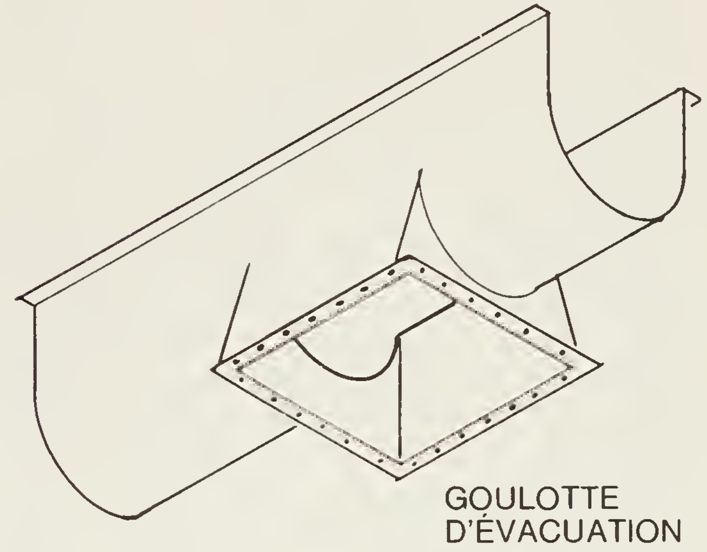
Les plateaux incurvés à crémaillère, qui épousent la forme de l'auge, permettent d'éliminer les poches causées en général par les plateaux coulissants à plat.

2 TRANSPORTEURS À VIS AGRICOLES

Les transporteurs agricoles sont des appareils spécialisés qui ne possèdent pas en général de roulements internes. La vis tourne à haute vitesse dans un tube, de 300 à 800 r/m., compte tenu du diamètre. Un chariot à roues permet de déplacer plus facilement le transporteur. Le chariot en question permet de régler l'inclinaison pour transporter les grains dans des compartiments ou autres endroits d'entreposage. Les trémies pendulaires, disponibles pour certains modèles de transporteurs, facilitent le déchargement des camions. Il est également possible de se procurer des accessoires de nettoyage avec les transporteurs agricoles.

La longueur de ces transporteurs ne dépasse pas 24 m et le diamètre varie de 100 à 400 mm. Les plus gros peuvent transporter à des hauteurs de 15 m ou plus des charges allant jusqu'à 130 m^3/h.





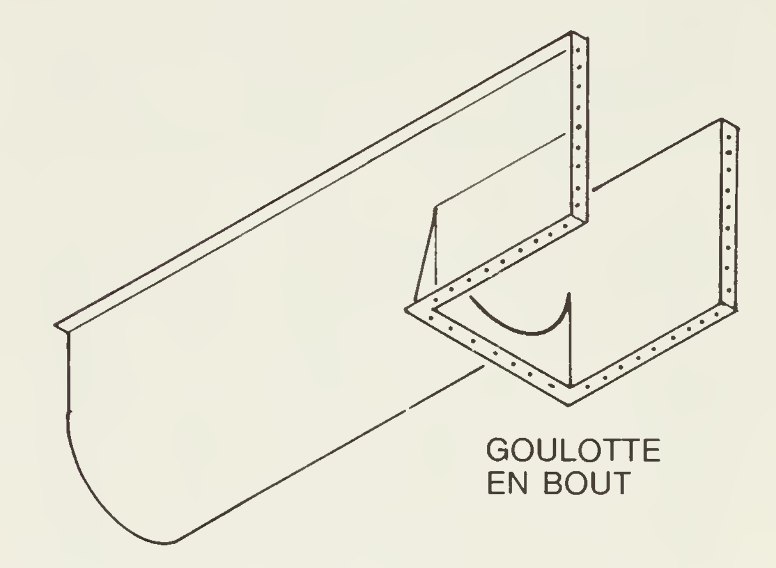


Figure 16 Goulottes d'auges

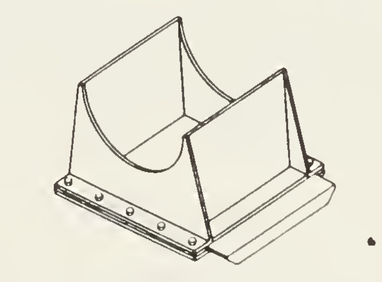
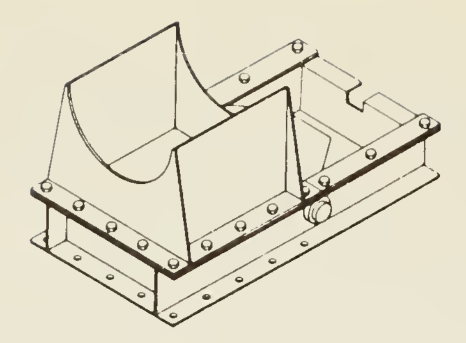


Figure 17 Plateau coulissant



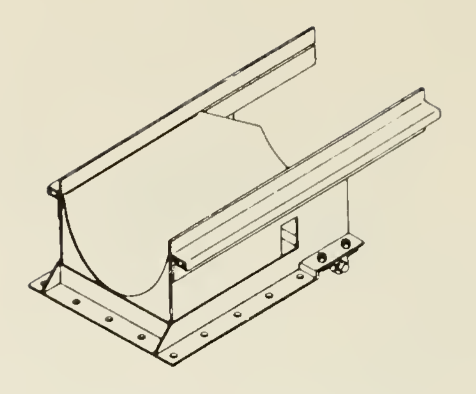


Figure 18 Plateaux à crémaillère

Les plus gros transporteurs sont en général actionnés par des prises de force de tracteurs. Les plus petits transporteurs peuvent être actionnés à l'aide d'une prise de force, ou de moteurs à essence hydrauliques ou électriques. Un arbre intermédiaire fixé à la base permet d'entraîner l'extrémité de sortie du transporteur. Ceci permet de mettre l'arbre porte-vis en tension et ainsi d'éliminer les charges de flambage et de réduire la dimension des pièces. Les raccords flexibles sur l'arbre intermédiaire permettent à ce dernier de xtrémité de sortie du transporteur.

Les transporteurs agricoles fonctionnent à des vitesses beaucoup plus élevées que les transporteurs à vis avec tourillons à brides, mais ils doivent être alimentés par engorgement. Le fonctionnement à vide de la vis accélère l'usure du matériel. Par ailleurs, le fonctionnement à capacité réduite peut causer une détérioration excessive des grains.

Afin de surmonter l'inertie causée par le frottement qui se produit entre le spire et les grains agglutinés contre la paroi du tube, les transporteurs agricoles doivent être actionnés par des moteurs puissants. De plus, la demande de puissance augmente de façon importante lorsqu'on déplace des grains humides. Par exemple, le transporteur chargé à pleine capacité de grains humides nécessite deux à trois fois le couple de démarrage que le même système qui transporte du grain sec.

Les fermes et autres exploitations agricoles utilisent des transporteurs à haute vitesse pour décharger les compartiments et distribuer les grains.

2.1 Transporteur spécialisé

Il existe également un type de transporteur à vis sans arbre moteur. Il est très flexible et fonctionne sans raccords spéciaux à l'intérieur de coudes formés. La spire elle-même transmet le couple et est retenue par un conduit ou un tube rigide.

Ces transporteurs spécialisés mesurent en général 100 mm ou moins de diamètre. Ils sont utilisés pour la manutention des moulées et des produits moulus. Prière de communiquer avec les fournisseurs pour obtenir les dimensions et la puissance requises.

3 CHOIX DE LA CAPACITÉ ET DE LA VITESSE DU TRANSPORTEUR

Il faut tenir compte des caractéristiques des produits qui doivent être transportés pour calculer la capacité et la vitesse du transporteur (tableau 1). Établir la charge selon le pourcentage maximal de la surface de la vis occupé par le produit. Les charges varient de 15 à 45 % selon les propriétés du produit. Pour déterminer la puissance nécessaire, utiliser le facteur matériel (m).

Afin de calculer la dimension et la vitesse du transporteur à vis, utiliser d'abord le tableau 2 pour calculer la charge d'auge propre au produit qui doit être transporté. Ce tableau énumère les capacités requises en mètres cubes par heure pour des transporteurs à vis de diverses dimensions fonctionnant à une révolution par minute et en fonction de quatre charges transversales. Il indique également les vitesses maximales recommandées et les capacités recommandées en fonction de ces vitesses.

Les données énumérées au tableau 2 se rapportent à des transporteurs couramment utilisés dans l'industrie. Compte tenu des conditions industrielles, des alimenteurs volumétriques contrôlent le taux de transport du produit qui est chargé dans le transporteur et qui en est vidé de façon uniforme.

Tableau 1 Caractéristiques des produits agricoles

Produit	Densité en vrac (kg/m³)	Pour-centage de la charge	Facteur matériel (m)	Remarques
Luzerne				
moulée	290	30*A*	36	oléagineux
granules	673	30*A*	36	–
graines	192	45	30	–
Nitrate d'amonium	800	30*A*	78	explosif, corrosif
Sulfate d'amonium	880	30*A*	60	s'accumule
Orge				
moulue	560	30*A*	24	–
maltée	560	30*A*	24	–
moulée	448	30*A*	24	–
entier	640	30*A*	30	–
Fèves				
ricin moulée	608	30*A*	48	oléagineux
ricin égrenée	576	45	30	oléagineux
haricot blanc sec	767	45	30	–
haricot blanc trempé	961	45	48	–
Cendre d'os	721	30*A*	96	–
Son				
seigle, blé	288	30*B*	30	–
Drêche				
déshydratée	352	30*A*	30	–
fraîche	924	30*A*	48	–
Sarrazin	610	45	24	–
Graine de trêfle	752	45	24	–
Maïs				
concassé	721	45	42	–
en épis, moulu	272	45	36	–
germe	336	30*A*	24	duveteux
Maïs				
gruau de maïs	689	30*A*	30	–
moulée	576	30*A*	30	oléagineux
graine	700	45	24	–
écossé	700	30*A*	24	–
sucre	529	30*A*	60	–

(*suite*)

Tableau 1 **Caractéristiques des produits agricoles (*suite*)**

Produit	Densité en vrac (kg/m3)	Pour-centage de la charge	Facteur matériel (m)	Remarques
Drêche de distillerie				
déshydratée	480	30*A*	30	–
fraîche	801	30*A*	48	–
Poudre d'oeuf	256	30*A*	60	–
Farine de poisson	609	30*A*	60	–
Graines de lin	650	30*A*	24	s'agglutinent
Graines de lin				
tourteau	785	30*A*	42	oléagineux
moulée	561	30*A*	24	oléagineux
Farine de blé	593	30*A*	36	très poussiéreux
Moulée de gluten	641	30*A*	36	–
Houblon				
déshudraté	561	30*A*	60	–
frais	849	30*A*	90	s'agglomère
Lactose	513	30*A*	36	–
Calcaire				
agricole	1089	30*A*	120	–
Malt				
sec moulu	400	30*A*	30	–
moulée	609	45	24	–
sec entier	400	30*A*	30	–
pousses	222	30*A*	24	–
Graines de moutarde	721	45	24	–
Avoine	416	30*A*	24	–
Avoine				
cosses	160	30*A*	30	–
Seigle	721	45	24	–
Graines de carthame	721	45	24	–
Soya				
tourteau	673	30*A*	60	oléagineux
moulée, froide	641	30*A*	30	–
moulée, chaude	641	30*A*	30	corrosif

(*suite*)

Tableau 1 Caractéristiques des produits agricoles (*fin*)

Produit	Densité en vrac (kg/m3)	Pourcentage de la charge	Facteur matériel (m)	Remarques
Fécule	609	45	60	expansion à l'air
Graines de fléole	577	30*A*	36	–
Superphosphate triple	849	30*B*	120	corrosif, toxique
Blé	735	45	24	–
Blé concassé	689	45	24	–

1 La manutention des grains secs, de la semence et des produits agricoles produit de la poussière. Cette poussière peut exploser dans certaines conditions.
2 Pour obtenir des caractéristiques d'autres produits, consulter les normes CEMA ou les documents des fabricants.
3 Si on procède à la manutention de grains, de semences ou d'autres produits mouillés, il faut multiplier le facteur matériel par 1,35 afin de prévoir l'accroissement de la puissance requise. (*voir* section 2, Transporteurs à vis agricoles).
4 Les lettres *A* et *B* dans la colonne «densité» de charge désignent la classification des dimensions CEMA, de la façon suivante :
A très fin : granulométrie 100 et moins
B fin : 3,2 mm à 100 granulométrie

Source : *Screw conveyor engineering catalog no. 7700*

3.1 Vitesse des transporteurs à vis

Dans les cas de transporteurs à spire hélicoïdale et à pas uniforme, calculer la vitesse du transporteur (V_c) à l'aide de la formule suivante :

$$V_c = \frac{\text{cap. requise (m}^3\text{/h)}}{\text{capacité (m}^3\text{/h) à 1 r/m}}$$

Afin de calculer la vitesse des transporteurs en fonction de pas différents ou pour d'autres types de vis, utiliser la formule de capacité équivalente (Q_e). Le calcul de la capacité équivalente est fondé sur trois paramètres importants (notamment : le facteur pas (P), le facteur correction de change (C) et le facteur inclinaison (I).

3.2 *Facteur pas des transporteurs* (P) Le pas est établi en fonction du type de vis requis, c'est-à-dire normal, serré, demi-pas ou allongé.

Normal :	Pas	=	diamètre de la vis
	P	=	1,00
Serré :	Pas	=	0,67 diamètre de la vis
	P	=	1,50
Demi-pas :	Pas	=	0,5 diamètre de la vis
	P	=	2,00
Allongé :	Pas	=	1,5 diamètre de la vis
	P	=	0,67

Source : *Catalogue no 7700 Sullivan Strong Scott*

3.3 *Facteur de correction de la charge* (C) Dans le cas d'un transporteur à ruban et en fonction de diverses charges, utiliser les facteurs de correction suivants :

C = 1,04 pour une charge de 15 %

C = 1,37 pour une charge de 30 %

C = 1,62 pour une charge de 45 %.

3.4 *Facteur d'inclinaison* (I) Dans le cas des transporteurs inclinés, utiliser les facteurs d'inclinaison suivants (selon les conclusions de la Division du matériel de manutention des produits de la Société FMC) :

I = 1,11 pour angle de transporteur de 10 °

I = 1,18 pour angle de transporteur de 15 °

I = 1,82 pour angle de transporteur de 20 °

I = 2,38 pour angle de transporteur de 25 °

I = 4,55 pour angle de transporteur de 35 °

Pour les inclinaisons allant jusqu'à 35 °, il faut utiliser le pas normal. Cependant, il est recommandé d'utiliser des spires à demi-pas pour des angles inférieurs à 25 °. On doit éviter d'utiliser les vis à ruban dans les transporteurs inclinés.

3.5 *Capacité équivalente* Pour calculer la capacité équivalente (Q_e) :

Q_e = capacité requise $\times P \times C \times I$

3.6 Granulométrie des produits

La plupart des transporteurs peuvent déplacer des produits grossiers. Choisir un transporteur qui peut déplacer des produits dont les dimensions correspondent à 15 % du diamètre de la vis. Si plus de 25 % des produits transportés ont une dimension égale à plus de la moitié de la granulométrie maximale, consulter le fabricant du transporteur.

3.7 Exemple de problème : calcul de la vitesse du transporteur

Calculer la vitesse (V_c) requise du transporteur pour un pas serré, 20 ° d'inclinaison, qui fonctionne à 30 % de sa capacité et doit déplacer 15 tonnes à l'heure de drêche séchée :

Dans le tableau 1, la densité du grain est de 352 kg/m³.

$$\text{Capacité requise} = \frac{15\,000 \text{ kg/h}}{352 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 42{,}6 \text{ m}^3\text{/h}$$

$$\text{Capacité équivalente} = Q_e$$

$$= 42{,}6 \times P \times I$$

$$= 42{,}6 \times 1{,}5 \times 1{,}82$$

$$= 116{,}3 \text{ m}^3\text{/h}$$

Dans le tableau 2, choisir un transporteur de 500 mm de diamètre ayant une capacité de 123,9 m³/h pour une vitesse de rotation maximale.

$$V_c = \frac{116{,}3 \text{ m}^3\text{/h}}{1{,}77 \text{ (m}^3\text{/h)/(r/m)}}$$

$$= 66 \text{ r/m}$$

Cependant, lorsqu'on utilise des paliers en fer dur, il faut calculer de la façon suivante la vitesse maximale de fonctionnement recommandée :

$$V_s = \frac{3048}{\text{diamètre de l'arbre (mm)}}$$

où V_s = vitesse de fonctionnement de la vis (r/min)

Les vitesses de rotation maximales énumérées au tableau 2 se rapportent à des transporteurs ayant des roulements montés sur brides. Dans le cas de distributeurs à grains agricoles, la capacité est égale au déplacement du produit

Table 2 Caractéristiques des transporteurs à vis horizontaux

Classe de charge	Diamètre du transporteur (mm)	Vitesse maximale des transporteurs industriels (r/m)	Capacité (m³/h) à vitesse maximale	Capacité (m³/h) à 1 r/min
45 %	100	175	3,1	0,018
	150	165	11,0	0,063
	225	155	36,0	0,232
	250	150	46,3	0,31
	300	145	78,8	0,55
	350	140	123,7	0,88
	400	130	171,9	1,32
	450	120	229,7	1,91
	500	110	291,8	2,65
	600	100	464,3	4,64
30A %	100	140	1,7	0,012
	150	120	5,1	0,042
	225	100	15,4	0,154
	250	95	19,4	0,204
	300	90	32,9	0,365
	350	85	50,0	0,589
	400	80	70,7	0,883
	450	75	95,6	1,27
	500	70	123,9	1,77
	600	65	200,8	3,09
30B %	100	75	0,9	0,012
	150	65	2,7	0,042
	225	55	8,5	0,154
	250	55	11,2	0,204
	300	50	18,3	0,365
	350	50	29,5	0,589
	400	45	37,5	0,889
	450	45	57,2	1,27
	500	40	70,8	1,77
	600	40	123,6	3,09
15 %	100	70	0,42	0,006
	150	60	1,3	0,21
	225	55	4,2	0,077
	250	55	5,8	0,105
	300	50	10,1	0,183
	350	50	14,7	0,294
	400	45	19,9	0,442
	450	45	28,7	0,637
	500	40	35,3	0,883
	600	40	61,8	1,55

Source: *Syntron and link-belt material handling equipment*

à une révolution par minute (en présumant une charge de 85 %) multiplié par la vitesse réelle de rotation. Il est cependant possible d'atteindre 85 % de charge maximale uniquement si la spire est bien exposée à la trémie d'alimentation. Sur les transporteurs agricoles disponibles actuellement, la longueur de spire exposée est variable :

330 mm pour un diamètre de 150 mm

400 à 450 mm pour un diamètre de 200 mm

900 à 1 100 mm pour un diamètre de 250 mm

3.8 Puissance requise par les transporteurs à vis

Il existe deux facteurs qui ont une influence sur la puissance requise par un transporteur à vis : il s'agit du type d'installation et de l'uniformité de la vitesse d'alimentation.

La puissance requise à l'arbre d'entraînement d'un transporteur à vis égale la somme de la puissance requise pour surmonter le frottement des roulements et de la puissance nécessaire pour transporter le produit. Utiliser la formule suivante pour calculer la puissance requise dans le cas de transporteurs à spire normale :

$$P_s = \frac{gL(b \times V_s + Q_e \times m)}{(30\ 300)}$$

où P_s = puissance à l'axe (kW)

g = constante de gravitation (9,81 m/s^2)

L = longueur du transporteur (m)

b = facteur de frottement du roulement à bride (*voir* tableau 3)

V_s = vitesse de fonctionnement (r/m)

Q_e = capacité équivalente (en kg/s)

m = facteur produit (*voir* tableau 1)

Dans le cas de déplacement des produits, ajouter le facteur puissance suivant à la puissance nécessaire à l'horizontale :

$$P_i = \frac{g\,Q_e\,h}{10^3}$$

où P_i = inclinaison de la puissance de l'axe (kW)

h = déplacement vertical (m)

Si le pas est le seul facteur variable de la spire du transporteur, la puissance nécessaire ne varie pas. Cependant, les spires modifiées exigent une puissance supplémentaire. Calculer la puissance totale requise à l'aide de la formule suivante :

$$P_m = M(P_s + P_i)$$

où P_m = puissance nécessaire pour une spire modifiée (kW)

M = facteur de spire modifiée (*voir* tableau 4)

Pour choisir un moteur, il faut modifier la puissance nominale en tenant compte d'un facteur d'efficacité afin d'assurer aux transporteurs une puissance adéquate. La plupart des concepteurs emploient un facteur d'efficacité de l'entraînement (e) de 0,75 si les chiffres du fabricant ne sont pas disponibles.

Tableau 3 Facteurs de frottement dans les tourillons à bride (*b*)

Diamètre de la vis (mm)	Type de tourillon à bride: À bille ou à rouleau	Bois, régule ou bronze	Nylon	Fer dur
100	0,09	0,16	0,19	0,38
150	0,14	0,25	0,29	0,60
200	0,20	0,35	0,43	0,84
250	0,29	0,50	0,60	1,21
300	0,42	0,73	0,87	1,89
350	0,59	1,02	1,24	2,65
400	0,80	1,41	1,70	3,63
450	1,06	1,81	2,22	4,54
500	1,25	2,15	2,61	5,29
600	1,74	2,95	3,67	7,18

Source: *Screw conveyor engineering catalog no. 7700*

Tableau 4 Facteurs relatifs aux spires modifiées

Type de spire	Charge du transporteur: 15 %	30 %	45 %	95 %
Spires sectionnées	1,10	1,15	1,20	1,30
Sectionnées et pliées	N.R.	1,50	1,70	2,20
À ruban	1,05	1,14	1,20	–

N.R. = non recommandé

Source: *Screw conveyor engineering catalog no. 7700*

Calculer de la façon suivante la puissance du moteur :

$P_M = P_{st} / e$

où P_M = puissance du moteur (kW)

P_{st} = puissance totale à l'axe (kW) pour des spires horizontales, inclinées, normales ou modifiées

e = facteur d'efficacité de l'entraînement

Les transporteurs agricoles ont une vitesse de rotation beaucoup plus élevée que celles qui figurent au tableau 2. Les transporteurs de 100 à 150 mm de diamètre ont une vitesse maximale de 800 r/min, les transporteurs de 200 mm de diamètre tournent à 600 r/min et les transporteurs de 300 mm de diamètre tournent à 300 r/min. L'usure du transporteur, la détérioration des grains et la puissance requise limitent la vitesse de rotation.

Calculer la puissance requise par les transporteurs agricoles en multipliant le facteur matériel (m) inscrit au tableau 1 par trois et utiliser cette valeur dans les formules se rapportant à la puissance de l'arbre d'entraînement (P_s) et à la puissance de l'arbre incliné (P_i).

Les transporteurs à vis sont conçus en fonction de normes industrielles. Il faut les choisir pour qu'ils fonctionnent dans des conditions industrielles selon des taux d'écoulement spécifiques. Les transporteurs agricoles sont conçus pour une durée de vie plus courte et un plus grand nombre de périodes de panne. Ils fonctionnent à des vitesses plus élevées et le diamètre de leurs arbres est plus petit que dans le cas des transporteurs à vis industriels.

3.9 Exemple de problème : puissance du moteur d'un transporteur à vis

Calculer la puissance du moteur requise pour les transporteurs à vis dans l'exemple de problème de la section 3.3. Le transporteur mesure 20 mètres de longueur et tourne sur des roulements à rouleaux.

$$P_s = \frac{gL(b \times V_c + Q \times m)}{30\,300}$$

où P_s = puissance à l'axe

g = 9,81 m/s^2

L = 20 m

b = 1,25 (*voir* tableau 3)

V_c = 66 r/m

$$Q = \frac{15\,000 \text{ kg/h}}{3600 \text{ s/h}} = 4{,}2 \text{ kg/s}$$

m = 30

$$P_s = \frac{9{,}81 \times 20\,(1{,}25 \times 66 + 4{,}2 \times 30)}{30\,300} = 1{,}35 \text{ kW}$$

Compte tenu d'une inclinaison de 20 % :

$P_i = gQh / 10^3$

où h = 20 sin 20 ° = 6,8 m

$$P_i = \frac{9{,}81 \times 4{,}2 \times 6{,}8}{10^3} = 0{,}3 \text{ kW}$$

Puissance total de l'axe :

$$P_{st} = P_s + P_i = 1{,}35 + 0{,}3 = 1{,}65 \text{ kW}$$

Puissance requise du moteur :

$$P_M = P_{st} / e = \frac{1{,}65}{0{,}75} = 2{,}2 \text{ kW}$$

3.10 Paramètre de fonctionnement des distributeurs à vis

Les distributeurs à vis comportent des paramètres de conception et de puissance très différents de ceux des transporteurs à vis. En général, le distributeur à vis est doté d'une spire à pas conique ou à pas variable du côté de la trémie d'alimentation, ce qui permet d'extraire le matériel de la façon la plus uniforme possible. Une section d'engorgement, située immédiatement après la trémie d'alimentation, fonctionne à 100 % de sa capacité et permet de contrôler le produit qui s'écoule de la trémie. Après la section d'engorgement, l'auge est dotée d'un couvercle plat qui permet au produit de prendre une certaine expansion. Ce couvercle permet également d'accéder à la vis aux fins d'entretien (fig. 19).

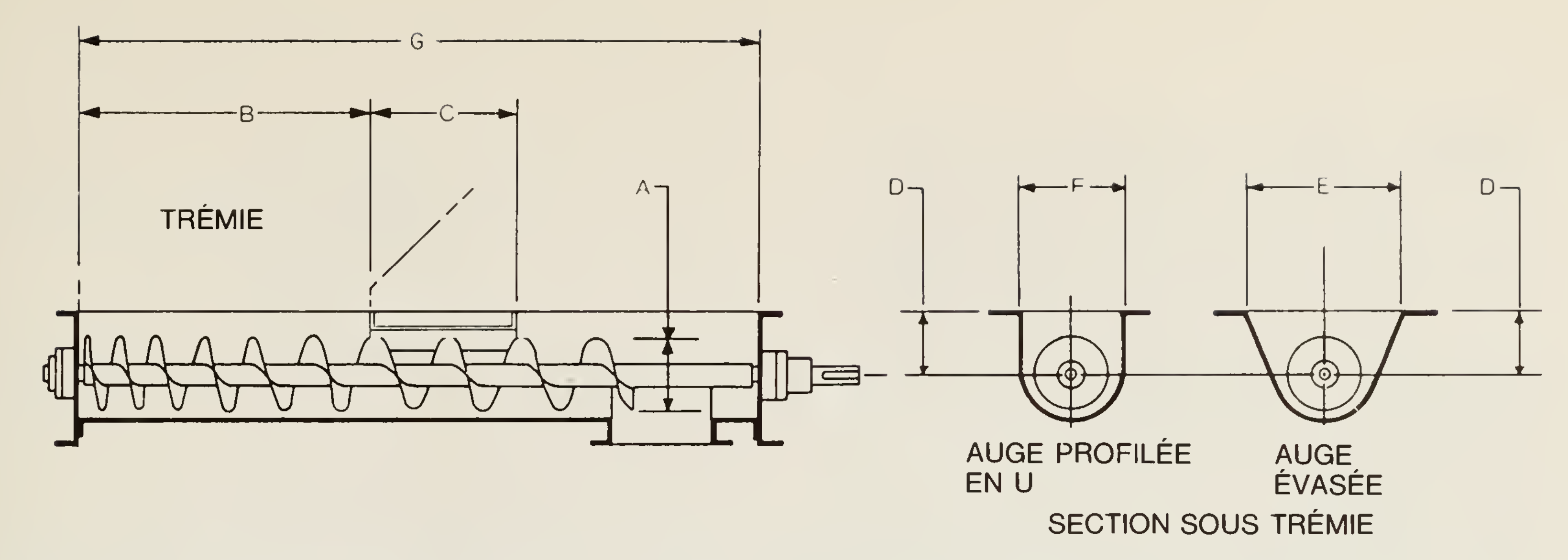


Figure 19 Composantes des distributeurs à vis. *A*, diamètre de l'auge; *B*, longueur de la trémie; *C*, longueur de l'engorgement; *D*, hauteur de l'auge au-dessus de l'arbre de transmission; *E*, largeur de l'auge évasée; *F*, largeur de l'auge en U; *G*, longueur de l'auge.
Source : *Syntron and link-belt material handling equipment*

La vitesse de fonctionnement dépend du produit manutentionné et du diamètre du distributeur. Par ailleurs, comme le distributeur à vis fonctionne à plein régime, il nécessite une puissance beaucoup plus élevée qu'un transporteur à vis. Le tableau 5 énumère les capacités de distributeurs à vis horizontaux pour un certain nombre de diamètres. Utiliser ce tableau pour calculer la vitesse de fonctionnement des distributeurs à vis.

La puissance requise par le distributeur à vis est calculée à l'aide des mêmes équations qui ont servi pour les transporteurs à vis. Cependant, il faut substituer la longueur du transporteur (L) par une longueur équivalente (L_e). Calculer la longueur équivalente à l'aide des tableaux 6 et 7 et des figures 19 et 20.

Tableau 5 Capacité des distributeurs à vis utilisés pour les produits agricoles

Diamètre du distributeur (mm)	Vitesse maximale (r/m)	Capacité à vitesse maximale (m3/h)	Capacité à 1 r/m (m3/h)
100	275	10,2	0,037
150	240	33,8	0,141
225	230	120	0,524
250	225	153	0,680
300	220	277	1,26
350	215	426	1,98
400	190	562	2,96
450	170	728	4,28
500	150	888	5,92
600	120	1236	10,3

Source: *Syntron and link-belt material handling equipment*

Tableau 6 Dimensions des distributeurs à vis

A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
100	600	200	125	250	125
150	900	300	180	355	180
225	1050	450	230	460	255
250	1100	525	240	480	290
300	1200	600	250	560	330
350	1300	710	280	610	380
400	1400	810	290	710	430
450	1450	910	310	790	480
500	1500	1000	340	860	530
600	1625	1200	420	1020	635

A = diamètre (mm)
B = longueur de gorge (mm)
C = longueur d'engorgement (mm)
D = distance du centre du transporteur au dessus de l'auge (mm)
E = largeur de l'auge évasée (mm)
F = largeur de l'auge profilée en U (mm)

Il s'agit de dimensions approximatives provenant de moyennes réalisées à partir d'installations types. Comparer avec des installations réelles. Se reporter aux figures 19 et 20.

Source: *Syntron and link-belt material handling equipment*

Tableau 7 Longueur équivalente des distributeurs à vis (L_e) en fonction de leur choix

Type de produit	Type de vis sous la trémie d'alimentation	Longueur équivalente (L_e)
Moins de 3,2 mm	conique	$G + B + C$
Moins de 3,2 mm	droite	$G + 2B + C$
3,2 à 12 mm	conique	$G + 2B + C$
Plus 12 mm	conique	$G + 3B + C$

G = longueur de l'auge (mm) (fig. 20)

Source: Canadian feed manufacturing technology

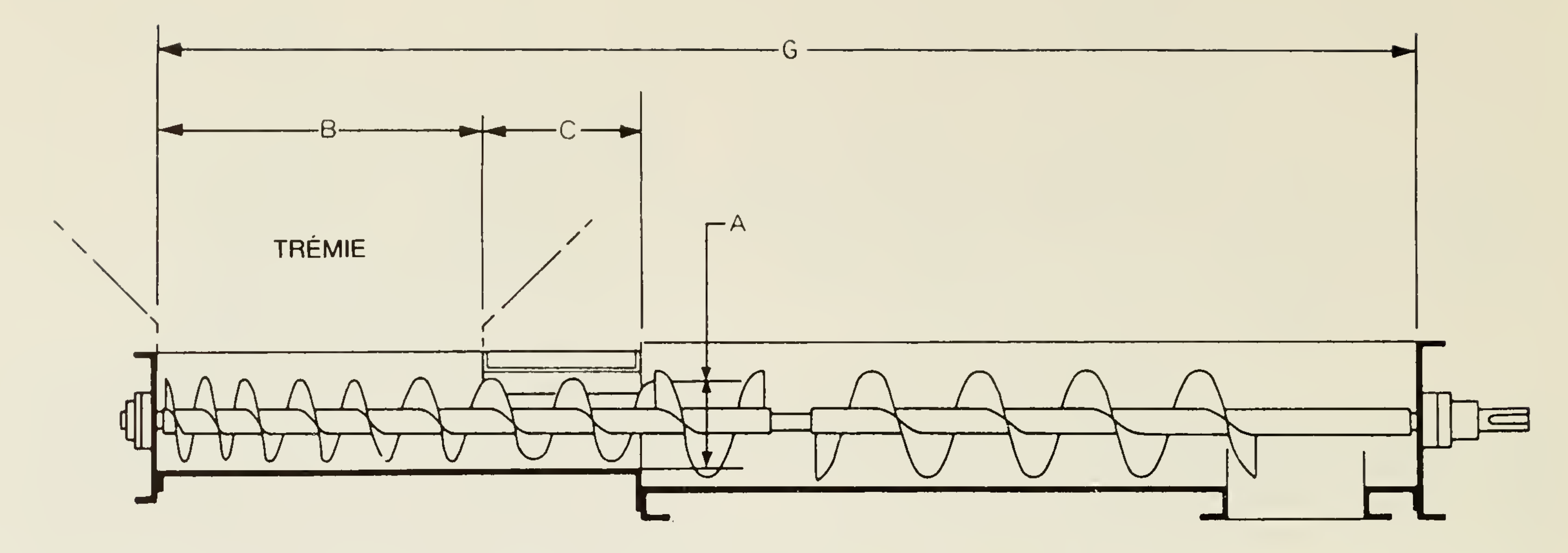


Figure 20 Distributeur à vis avec transporteur d'appoint. ***A***, **diamètre de l'auge;** ***B***, **longueur de la trémie;** ***C***, **longueur d'engorgement;** ***G***, **longueur de l'auge.**
Source : ***Syntron and link-belt material handling equipment***

4 ÉLÉVATEURS À GODETS

Les élévateurs à godets sont couramment utilisés pour le transport à la verticale des produits agricoles pulvérulents qui s'écoulent librement. Des godets fixés à une courroie sans fin à l'aide de boulons déplacent le produit à l'intérieur d'une gaine anti-poussière.

Les godets sont alimentés près du pied de l'élévateur. Le remplissage se fait en général sur le brin montant, les godets étant remplis au cours de leur déplacement vers le haut. On procède par ailleurs au remplissage des godets avec des produits moulus ou fins sur le brin descendant. Les godets se remplissent alors par dragage au pied de l'élévateur.

La gravité et la force centrifuge permettent le vidage des godets à la tête de l'élévateur lorsqu'ils contournent la poulie qui y est montée.

Une goulotte de jetée sur la face inférieure de la tête permet au produit de s'écouler.

Le mouvement de traction se situe normalement à l'arbre de tête. Le réglage de la tension de la courroie est assuré au tambour de pied. Seule la résistance de la courroie limite la hauteur de l'élévateur.

La figure 21 illustre un élévateur à godets courant et ses principales composantes. Parmi les avantages de ces appareils citons :

- une vaste gamme de débits possibles
- peu d'entretien
- bonne efficacité mécanique
- prend peu de place au sol
- fonctionnement étanche à la poussière
- faible coût d'exploitation
- fonctionnement silencieux
- fonctionnement à vide sans dommage
- faible espacement des compartiments

Parmi les inconvénients, on peut citer :

- détérioration du produit
- nettoyage nécessaire du pied
- coût d'achat élevé

4.1 Puissance requise

Utiliser les formules suivantes pour calculer la puissance requise pour un élévateur à godets :

$$P = \frac{F_1 Q g h}{1000}$$

où P = puissance (kW)
Q = charge de produits placés (kg/s)
g = constante de gravitation (9,81 m/s)
h = hauteur d'élévation (m)
F_1 = facteur de charge

Le facteur de charge (F_1) tient compte des forces de frottement et de dragage. Lorsque l'élévateur est alimenté sur le brin montant, $F_1 = 1{,}2$. Lorsque le chargement se fait sur le brin descendant, $F_1 = 1{,}5$.

Puissance requise du moteur

$$P_M = P / e$$

où P = puissance (kW)
e = facteur d'efficacité de l'entraînement, précisé par le fabricant
= 0,75, si les spécifications du fabricant ne sont pas disponibles

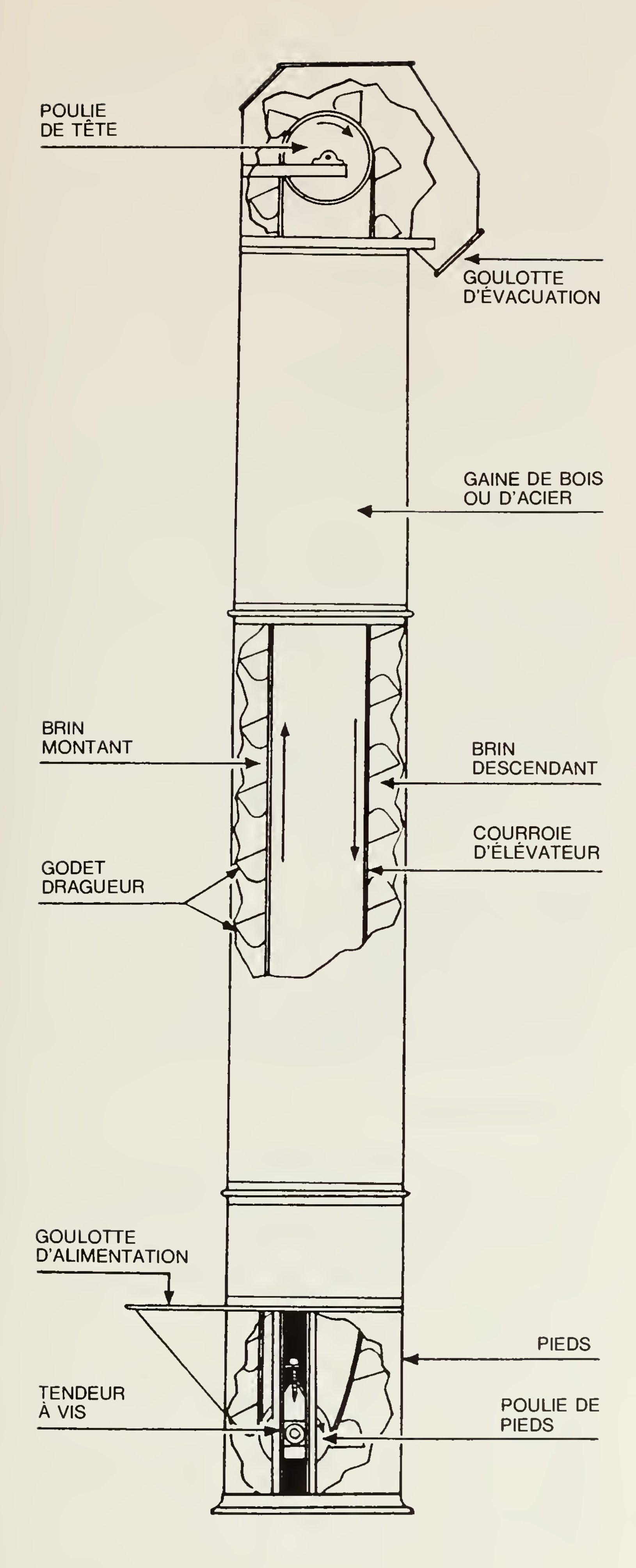


Figure 21 Élévateur à godets
Source : *Grain handling and storage*

4.2 Disposition de l'entraînement

Les élévateurs à godets sont en général dotés d'un motoréducteur à courroie monté sur l'arbre d'entraînement de la poulie de tête. Les petits élévateurs utilisent quelquefois les arbres de renvoi. Des réducteurs à arbres parallèles sont raccordés à l'arbre de tête, soit directement ou au moyen d'un entraînement à commande finale.

Un entraînement hydraulique peut fournir la puissance aux élévateurs à godets afin d'assurer les vitesses de rotation lentes qui sont nécessaires. Cependant, les motoréducteurs sont en général plus économiques. Les entraînements lents qui assurent des vitesses de rotation lentes dans les gaines d'élévateurs vides permettent l'inspection de l'entraînement.

L'installation d'un anti-dévireur empêche le dévirage de l'élévateur sous l'effet du brin ascendant chargé lorsque le courant est coupé. L'anti-dévireur est monté à l'intérieur à même le motoréducteur ou sur l'arbre de tête.

4.3 Vitesse de fonctionnement

Les dimensions et le pas des godets permettent de calculer la vitesse de fonctionnement et la capacité des élévateurs. La vitesse de la poulie de tête a un effet sur l'efficacité de vidage et, si cette vitesse n'est pas contrôlée, elle peut causer la détérioration des produits. La vitesse de la courroie dépend du diamètre de la poulie de tête et de la vitesse de rotation.

Selon la théorie Goodyear du vidage centrifuge, la vitesse de rotation maximale de la poulie de tête doit être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$V_p = \frac{30}{\sqrt{R \tan(60 - \phi)}}$$

où V_p = vitesse de la poulie de tête (r/m)

R = rayon de la poulie de tête (m)

ϕ = angle de vidage d'aplomb du produit transporté

Le Department of Agriculture des É.-U. a indiqué que l'angle de vidage d'aplomb de divers grains égale en moyenne 28,4 °. À l'aide de cette valeur, la formule est la suivante :

$$V_p = \frac{38}{\sqrt{R}}$$

Il est à noter que la forme des godets a un effet sur la vitesse optimale de tête; il faut donc utiliser les valeurs calculées uniquement à titre de guide. Les vitesses réelles de fonctionnement peuvent s'écarter de 20 % des vitesses optimales calculées.

Après calcul de la vitesse de rotation de la poulie de tête, il faut calculer la vitesse de la courroie à l'aide de la formule suivante :

$$V = \frac{\pi D V_p}{60}$$

où V = vitesse de la courroie (m/s)
D = diamètre de la poulie (m)

4.4 Capacité des élévateurs à godet

Calculer la capacité des godets à l'aide de la formule suivante :

$$Q = \frac{Q_u B V}{n}$$

où Q = capacité (kg/s)
Q_u = capacité utile des godets (m^3)
B = densité du produit (kg/m^3)
n = pas des godets sur la courroie (m)

La plupart des godets se remplissent à 75 %. Par conséquent, la capacité utilisable des godets est égale aux trois-quarts de leur capacité nominale.

Consulter les documents des fournisseurs afin d'obtenir les capacités de divers types de godets.

4.5 Exemple de problème : puissance requise par l'élévateur

Utiliser un élévateur à godets de 15 m alimenté sur le brin montant et qui permet de déplacer du blé à l'aide de godets de 9 sur 6. Le volume de chaque godet est de 3,5 litres. Les godets sont disposés en une seule rangée et espacés de 0,2 m. La poulie de tête a un diamètre de 0,760 m. Calculer :

- la vitesse de la poulie de tête, V_p
- la vitesse de la courroie, V
- la capacité de l'élévateur, Q
- la puissance du moteur, P_M

La vitesse de la poulie de tête :

$$V_p = \frac{38}{\sqrt{R}} = \frac{38}{\sqrt{0,38}} = 62 \text{ r/min}$$

Vitesse de la courroie :

$$V = \frac{\pi D V_p}{60} = \frac{\pi(0,76)(62)}{60} = 2,47 \text{ m/s}$$

Capacité de l'élévateur :

$$Q = \frac{Q_u B V}{s} = \frac{0,75 \times 0,0035 \times 735 \times 2,47}{0,200} = 23,8 \text{ kg/s}$$

Puissance :

$$P = \frac{F_1 Qgh}{1000} = \frac{1,2 \times 23,8 \times 9,81 \times 15}{1000} = 4,2 \text{ kW}$$

Puissance du moteur :

$$P_M = \frac{4,2}{0,75} = 5,6 \text{ kW}$$

4.6 Détails de tête

Choisir un diamètre de poulie de tête égal à 4 à 5 fois la distance entre l'extrémité éloignée du godet et la surface de la courroie. La face de la poulie est supérieure de 25 mm à la largeur de la courroie. En général les courroies sont constituées de segments à bout ou sont boulonnées.

Prévoir un cône pour les poulies de tête égal à 0,01 afin que la courroie reste centrée. De plus, il faut aménager des tringles sur les poulies afin de réduire le glissement sous la charge des godets. Les tringles peuvent être vulcanisées, collées ou boulonnées à la poulie de tête. Monter la poulie de tête sur l'arbre de tête à l'aide de bagues coniques afin d'en faciliter l'entretien.

Façonner la tête de l'élévateur afin de capter et de diriger le vidage dans des godets. La forme du capot de tête et la position de la goulotte d'évacuation constituent également

des éléments importants dans la conception de l'élévateur à godet. Une bonne conception du capot de tête permet le vidage efficace du produit et empêche sa détérioration. Il faut assortir le plus possible la forme de la tête de l'élévateur à la trajectoire du produit. Il faut également prévoir, dans la goulotte d'évacuation, des garnitures résistant à l'abrasion, faites d'acier, de caoutchouc ou de plastique poli.

Il faut également aménager dans la tête, des portes de visite et une plate-forme de service. Ces composantes aident l'inspection et l'entretien de la poulie de tête, de la goulotte d'évacuation et du système d'entraînement de l'élévateur. Une porte de visite dans la goulotte d'évacuation permet d'inspecter les garnitures et d'enlever les produits entassés. La plate-forme de service est souvent assujettie à la section de tête ou aux structures adjacentes; une échelle y donne accès. Il est également utile de raccorder l'échelle à la gaine d'élévateur et de prévoir une ossature pour monter les courroies ou les systèmes d'entraînement jusqu'à la tête de l'élévateur. La figure 22 illustre ces détails de tête.

4.7 Détails du pied

Les poulies du pied et de la tête sont de même diamètre. Il faut calculer le diamètre minimal de la poulie de pied à partir des données du fabricant sur les tensions de fonctionnement des courroies. Les tendeurs à contrepoids ou à vis permettent de régler la tension de la courroie, les tendeurs à vis étant plus communs sur les plus petits appareils.

L'élévateur est alimenté par le pied. Les portes de visite permettent d'inspecter la poulie de pied. Les porte de vidange permettent également d'enlever le matériel de la base du pied.

Il existe trois types de portes de vidange particulièrement utiles.

- Utiliser les panneaux amovibles placés à 45 ° de la poulie de pied. Il doit y avoir un jeu d'au moins 20 mm entre ces panneaux et les godets au plus bas de leur course (fig. 23).
- Façonner les panneaux amovibles pour qu'ils se conforment à l'arc de déplacement du bord des godets. Ces panneaux seront réglables à la verticale afin de compenser le réglage de la courroie. Il faut maintenir un jeu minimal de 20 mm entre le bord des godets et les panneaux.
- Installer un plateau coulissant de pleine largeur dans la base du pied au-dessus de la pile. Lorsque ce plateau est enlevé, les produits qui se trouvent dans le pied tombent sur le plancher et peuvent être enlevés. Ce montage permet un nettoyage complet, mais peut entraîner des pertes importantes du produit.

Lorsqu'il n'y a aucun danger de contamination, il faut choisir le deuxième type de porte

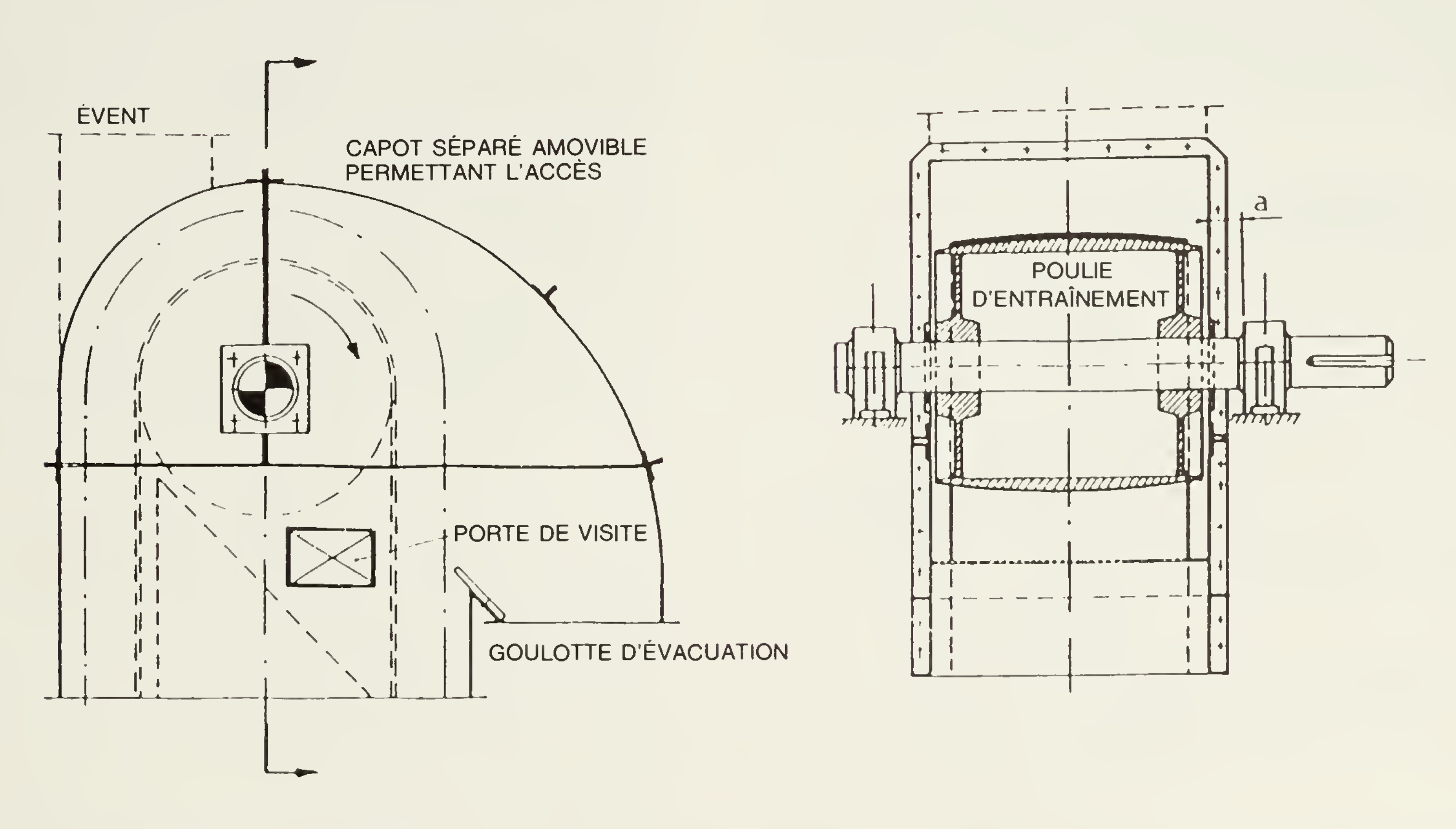


Figure 22 Détails de la tête d'élévateur à godets
Source : *Grain handling and storage*

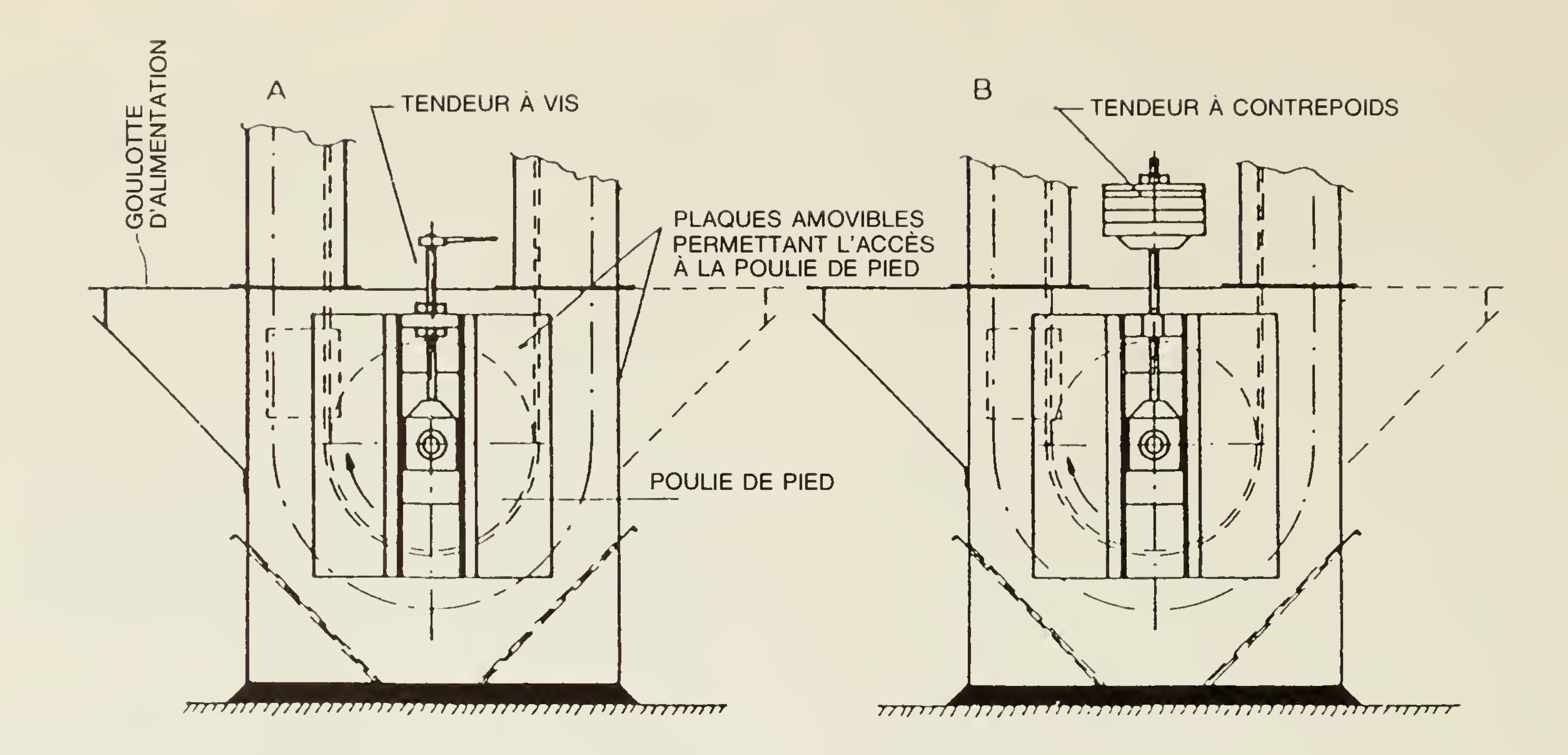


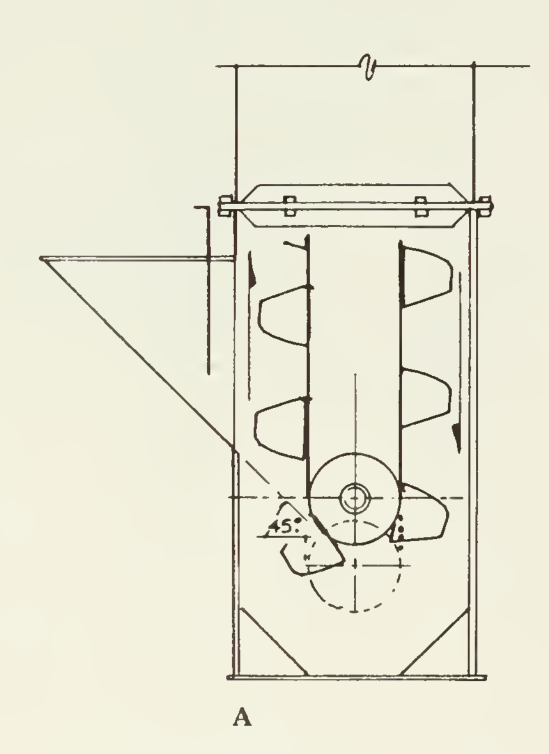
Figure 23 Détails du pied d'élévateur à godets

de vidange. S'il y a danger de contamination, choisir la première ou la troisième possibilité. Lorsqu'il est nécessaire de nettoyer complètement le pied dans les usines à grains, utiliser la troisième possibilité.

4.8 Chargement

Les grains sont introduits dans l'élévateur au niveau du pied, de préférence sur le brin montant. Cette disposition permet de réduire la détérioration des produits et d'économiser de l'énergie. Lorsque l'alimentation se fait sur le brin montant, il faut tenir le fond de la trémie d'alimentation au-dessus de l'axe central de la poulie du pied à sa plus haute position (fig. 24*a*). Lorsque l'alimentation est effectuée sur le brin descendant, le fond de la trémie d'alimentation est tenu au niveau de l'axe central de la poulie à son plus bas afin d'éviter la détérioration du produit (fig. 24*b*).

Il faut régulariser l'alimentation du pied. Lorsque l'alimentation se fait par gravité, il faut utiliser des plateaux pour régulariser l'écoulement. D'autre part, des transporteurs à vis, à courroie ou à raclettes peuvent pousser le grain dans l'élévateur, assurant le vidage soit directement dans la trémie ou à partir d'une goulotte d'évacuation du transporteur. Lorsqu'on alimente un élévateur par engorgement, il faut utiliser une vis sans brides. Une spire enduite de teflon permet d'utiliser l'auge comme surface portante. La figure 25 illustre l'emplacement des trémies



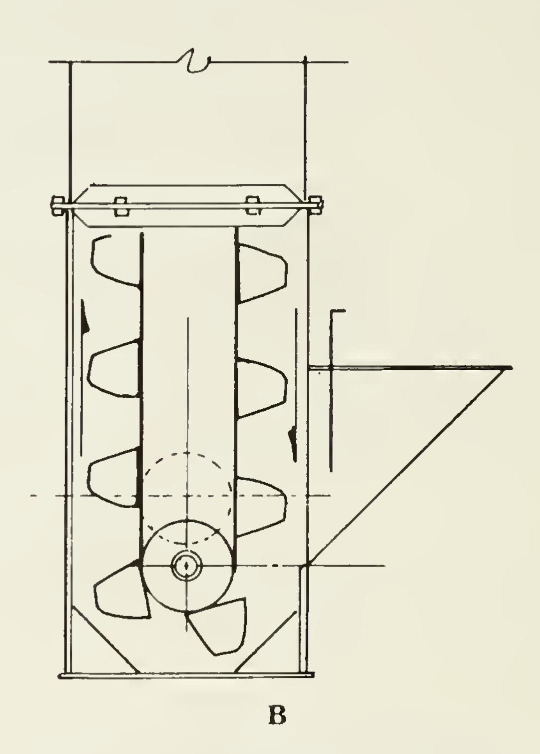
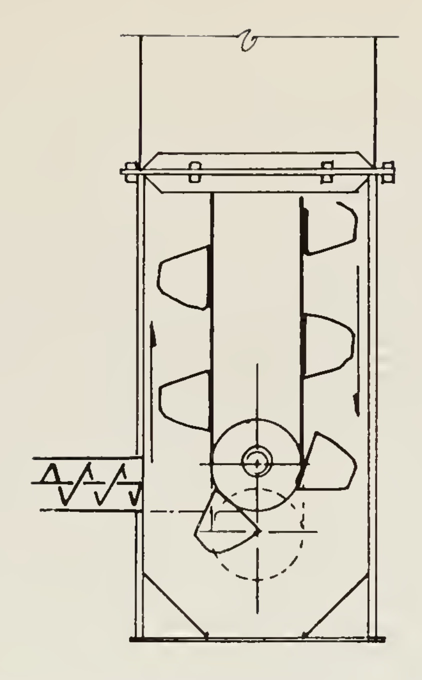


Figure 24 Goulotte d'alimentation des élévateurs à godets alimentés par gravité. (A) La plus haute position. (B) La plus basse position.



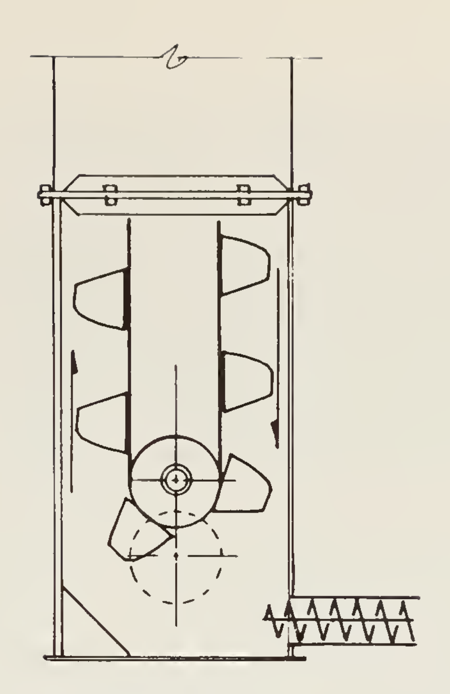


Figure 25. Goulotte d'alimentation des élévateurs à godets à alimentation forcée : positions d'arrivée.

d'alimentation par engorgement sur l'un ou l'autre brin de l'élévateur. Il faut assurer un jeu d'environ 50 mm entre les godets d'élévateur et la vis exposée.

Afin d'éviter de trop engorger le système, il faut assurer que les transporteurs aient une capacité d'au moins 10 % inférieure à celle de l'élévateur. Utiliser des goulottes ou des pièces de transition avant la trémie d'alimentation pour assurer une protection supplémentaire contre l'engorgement.

Introduire les moulées et les produits moulus dans le brin ascendant de l'élévateur; ces produits s'écoulent moins bien que le grain. Il faut ventiler les godets afin que l'air puisse s'en échapper pendant le remplissage. Cette simple disposition permet d'améliorer tant le remplissage des godets que la capacité de la gaine.

Prévoir des évacuateurs de poussière au-dessus du niveau de chargement sur le brin montant (fig. 26). Un évent d'évacuation permet d'abaisser la pression engendrée par le déplacement de la courroie et facilite le remplissage des godets. De plus, installer un deuxième évacuateur de poussière ou un dispositif de réduction de la pression à même la tête au-dessus de la goulotte d'évacuation.

4.9 Gaine

Le boîtier qui renferme la courroie et les godets se nomme gaine. La gaine empêche le dégagement de poussière et assure un appui de structure pour les poulies de courroie et les accessoires. Certains élévateurs sont munis d'une seule gaine qui renferme les brins montant et descendant de la courroie. Il est cependant plus courant dans les milieux agricoles d'installer des gaines doubles qui renferment chacun un brin de la courroie. Bien assujetti, ce type de gaine assure une meilleure rigidité structurale que la gaine simple.

Il existe quatre facteurs qui régissent la conception de la gaine : la tension de la courroie, la hauteur de l'élévateur, la charge du vent et les accessoires installés sur l'élévateur. Consultez les documents du fabricant au sujet de l'épaisseur requise des gaines.

La gaine doit être conçue à l'épreuve de la poussière et de l'eau, et la structure doit être appropriée à l'utilisation prévue. Un alignement précis de la gaine permet d'assurer un fonctionnement satisfaisant de l'élévateur. Des entretoises, installées en général pendant la fabrication des gaines doubles, en assurent la rigidité. La fabrication sur gabarit permet d'obtenir l'alignement requis. Pendant

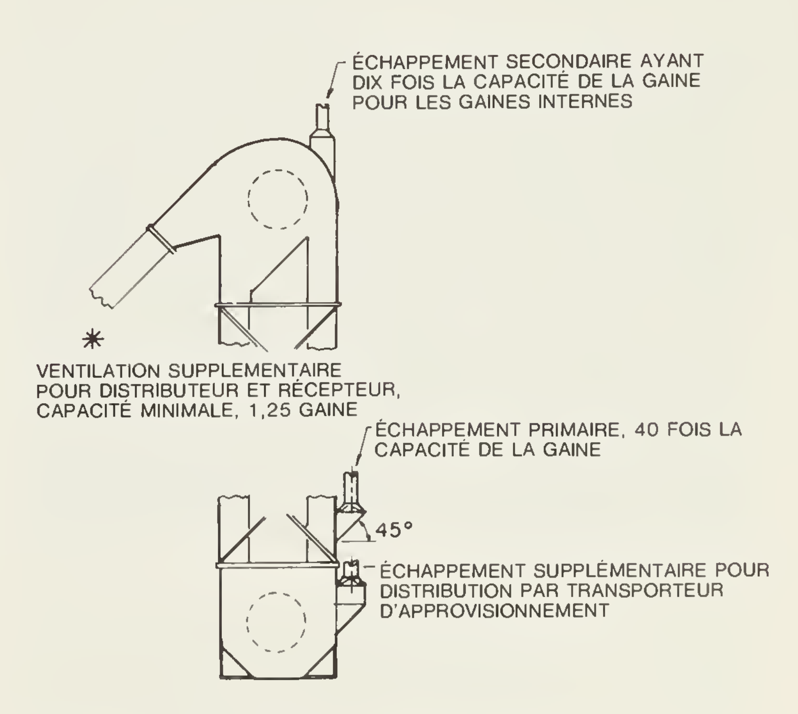


Figure 26. Disposition des évacuateurs de poussière pour les élévateurs à godets

l'érection, des cales doivent être posées sur les joints entre les sections de gaine afin d'en maintenir l'alignement.

Pour prévenir les dommages à la gaine, il faut l'équiper de portes d'explosion qui permettent de réduire les pressions excessives. Il faut également prévoir des portes de visite de chaque côté du brin montant et à l'extérieur du brin descendant au-dessus du pied, afin d'inspecter et d'entretenir la courroie et les godets.

4.10 Poulies de la tête et du pied

Les poulies de la tête et du pied sont constituées en général de tambours d'acier usinés avec support à brides à même l'arbre central. Des moyeux et des bagues de blocage coniques relient la bride à l'arbre. Dans la plupart des cas, l'arbre de tête comporte deux brides, alors que les poulies du pied, surtout dans les élévateurs plus petits, comportent une seule bride centrale.

Les poulies du pied, en général auto-nettoyantes, ont une série de tringles montées sur un moyeu central à cône double. Cette conception permet de réduire de façon significative l'accumulation de poussière tant sur le moyeu que sur le revers de la courroie.

Il faut aligner précisément les poulies de la tête et du pied afin d'éviter la dérivation de la courroie.

Le réglage trop serré ou trop lâche de la tension de la courroie peut causer son étirement ou son glissement. Dans de telles situations, il peut y avoir danger d'incendie ou une diminution de la durée de vie de la courroie.

4.11 Courroies

Il faut choisir une courroie en fonction de la tension du travail et de la saillie des godets, et en modifier la tension pour tenir compte des joints de courroie. Les courroies à carcasse de polyester ou de nylon revêtues de chlorure de polyvinyle sont largement utilisées. Les courroies peuvent comporter une carcasse en tissu à plusieurs épaisseurs ou en corde. Dans les applications à grande hauteur ou à capacité élevée, utiliser des courroies à carcasse métallique. Ajouter des protecteurs de courroies pour assurer la résistance au feu, à l'huile et à l'usure.

Dans le cas des courroies fabriquées de matériaux ordinaires, il faut s'attendre à un étirement aussi élevé que 2 à 3,5 % par rapport à la longueur initiale, avant qu'elle ne se stabilise. Cependant, les courroies fabriquées de nouveaux matériaux peuvent s'étirer aussi peu que 0,5 %.

Les sections de courroies sont en général raccordées à l'aide de joints métalliques ou boulonnés. Les épissures les plus courantes sont les raccords boulonnés par chevauchement à l'aide de boulons à coupelle, les joints bout à bout à l'aide de serres à barres boulonnés, les joints bout à bout assujettis à l'aide de pinces crocodiles ou les joints à lacets. Il est bon de tenir compte des deux facteurs suivants lorsqu'on choisit des joints de courroie :

- l'efficacité du joint
- le temps d'installation

5 DIRECTIVES CONCERNANT LE MONTAGE DES ÉLÉVATEURS

Il existe un certain nombre de facteurs qui régissent le montage des élévateurs à godets; il s'agit de la hauteur de l'élévateur, des moyens de soutien et de l'endroit d'installation (que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur). Cependant, dans tous les cas il faut assujettir la gaine à l'aide de supports latéraux pendant le montage que l'on doit exécuter droit et d'aplomb. De plus, il faut installer un joint ou sceller le joint à brides.

Choisir l'une des trois méthodes suivantes pour monter l'élévateur à godet.

La première méthode consiste à monter et à installer chaque section de l'élévateur. Il s'agit cependant d'une méthode qui requiert des plate-formes de travail soutenues sur toute la hauteur à même les structures adjacentes. Le montage peut être lent et coûter cher en main-d'oeuvre.

La deuxième méthode consiste à assembler la gaine par terre en tronçons de 7 à 10 mètres. Utiliser ensuite une grue pour hisser les tronçons pendant le montage.

La troisième méthode consiste à assembler à terre la totalité de la gaine et de la tête. Il faut ensuite ériger l'appareil en une seule fois à l'aide d'une grue. Cette méthode exige une certaine habileté et de la prudence afin d'éviter la déformation de la gaine ou les dommages pendant le montage.

Quelle que soit la méthode de montage, il faut prévoir des fondations et des supports latéraux pendant toutes les étapes de construction de l'élévateur.

5.1 Fondations

Le dessin de la fondation doit être étudié en fonction des charges statiques et dynamiques de l'élévateur. De plus, si on utilise une tour, la fondation doit résister à la force des vents. Il faut calculer ces charges conformément au Code national du bâtiment du Canada, en tenant compte de la région où l'élévateur doit être construit. La fondation doit également résister au tassement ou au déplacement causé par le gel.

En général, et compte tenu des conditions du sol, une dalle structurale au niveau pourra servir de fondation. Cependant, des pilots seraient sans doute plus économiques dans le cas de grands élévateurs ou de tours élevées.

5.2 Supports latéraux

Les supports latéraux permettent à l'élévateur de résister à la force des vents. Des tours libres, qu'elles soient conçues spécialement ou achetées du fournisseur, pourront servir de supports. Les élévateurs peuvent également être assujettis aux structures adjacentes à l'aide d'étais structuraux installés à intervalles de 7 à 10 mètres.

Lorsqu'il n'y a pas de tour ou de structure adjacente, on utilise des haubans pour assurer une stabilité latérale. Les câbles de haubans sont attachés à la gaine d'élévateur à intervalles de 7 à 10 mètres. Ces câbles sont orientés dans quatre directions à partir de la structure de l'élévateur et sont ancrés à des poteaux plantés en terre au niveau. Idéalement, les haubans seront placés à 90° l'un de l'autre selon une pente de 50° ou moins par rapport à l'horizontale.

Les ancrages ou les massifs d'ancrage peuvent être des blocs de béton massif ou des poteaux d'acier, de bois ou de béton coulé sur place. Dans le cas des blocs de béton, il faut les enterrer de manière à ce que la surface soit égale au niveau. Dans le cas des poteaux, ils doivent être plantés de manière à ce qu'une partie soit exposée au-dessus du niveau du sol pour élever les haubans au-dessus du sol. Cette méthode assure une protection aux poteaux qui pourraient être endommagés par des véhicules.

Le dessin des ancrages doit être réalisé afin de résister aux forces horizontales et verticales transmises par les haubans. La stabilité des massifs d'ancrage en béton dépend de la masse de ces derniers et de la résistance passive du sol. Les poteaux d'ancrage résistent à l'arrachage grâce au frottement superficiel entre la terre et les poteaux. De plus, la butée du sol permet aux poteaux de résister aux forces horizontales. Les poteaux d'ancrage doivent également résister à la force des haubans et au moment de flexion imposé par la partie du poteau qui est en porte-à-faux au-dessus du niveau du sol.

Il faut calculer le frottement superficiel du poteau pour établir la profondeur à laquelle il doit être planté dans la terre afin de résister à la charge verticale des câbles. La charge horizontale doit être transmise à la terre par la flexion du poteau.

La Mid-West Plan Service utilise les calculs suivants pour établir la profondeur des poteaux :

$$s = \frac{1{,}47(P + wh) + (2{,}16(P + wh)^2 + 10{,}52ptM)^{0{,}5}}{2pt}$$

où
- s = profondeur du poteau (m)
- P = force horizontale (N)
- h = hauteur par rapport au sol (m)
- p = butée du sol (N/m^2)
- w = charge latérale uniformément distribuée sur la colonne, ne s'applique pas dans le présent cas
- t = largeur du poteau (m)
- M = moment de flexion (N·m)

Le moment de flexion maximale se situe à un point égal au tiers de la longueur du poteau sous la surface du sol. Par conséquent :

$$M = P(h + s/3)$$

La profondeur du poteau dans le sol se calcule par approximation iteractive des deux équations précédentes.

Les poteaux en bois ou en acier assurent une bonne tension latérale, mais le béton coulé sur place est plus approprié pour diverses raisons.

Premièrement, l'important diamètre de la partie enfoncée assure une meilleure distribution des charges dans le sol environnant que d'autres types de pilots.

Deuxièmement, la largeur effective du poteau de béton est égale au diamètre du trou creusé. Il est donc inutile d'élaborer des hypothèses au sujet de l'angle interne de frottement du remblai et de sa capacité à répartir la charge sur une plus grande surface que celle du poteau.

En troisième lieu, les poteaux de béton assurent une meilleure résistance à la flexion que les poteaux de bois. D'ailleurs, il n'est pas nécessaire de se préoccuper de la stabilité durant la coupe.

Enfin, la masse et les dimensions d'un poteau de béton le rendent plus visible et moins sujet à des dommages qui pourraient être causés par le déplacement des véhicules.

Comme c'est le cas pour les conditions de charge sur toute section des poteaux, les dessins doivent être étudiés afin de prévoir une combinaison des forces axiales et de flexion.

$$\frac{F_p/A}{S_t} + \frac{M/s}{S_b} \leq 1{,}0$$

où F_p = la force de retrait vertical (N)

A = surface en coupe du poteau (m^2)

S_t = résistance en tension (N/m^2)

M = moment de flexion (N·m)

s = module de coupe (m^3)

S_b = résistance à la flexion (N/m^2)

Le câble doit être choisi en fonction de la charge de travail. Ce doit être un câble préétiré. Installer un tendeur à vis sur chaque hauban pour en régler la tension. Comme la température a un effet sur la tension des haubans, il faut vérifier cette tension au moins deux fois par année. L'été, l'allongement des haubans peut causer un fléchissement latéral excessif. L'hiver, le raccourcissement peut accroître la tension et endommager la gaine de l'élévateur.

Fixer les haubans aux massifs d'ancrage à l'aide d'anneaux et d'oeillets de suspension ou à l'aide de manilles. Utiliser des haubans galvanisés qui résistent à la corrosion. En général, on n'achète pas d'haubans en acier inoxydable car ils sont trop chers.

5.3 Distributeurs

Dans la plupart des cas, le vidage du matériel se fait de l'élévateur à godets vers différents endroits. Utiliser à cette fin des vannes de dérivation et des distributeurs; les soupapes ne doivent servir que pour les produits qui seront versés à deux ou trois endroits.

Il arrive fréquemment qu'un seul élévateur soit utilisé pour plusieurs produits qui sont déversés dans divers contenants. Dans ces cas, les distributeurs permettent d'acheminer le produit aux endroits appropriés de déchargement.

Une goulotte d'évacuation mobile est montée sur le distributeur qui déverse les produits dans diverses goulottes de distribution qui y sont rattachées. Il existe deux types de distributeurs qui sont largement utilisés: les têtes pendulaires et les têtes rotatives. Ces deux dispositifs assurent une enceinte totalement close pour les goulottes internes mais permettent la ventilation de la poussière.

Dans les distributeurs pendulaires (fig. 27), la goulotte d'évacuation se déplace suivant un arc sur le plan horizontal. La goulotte se place dans l'axe de la goulotte de distribution choisie et permet de diriger les produits selon le besoin. Les systèmes de manutention des moulées sont en général munis de ce type de tête puisqu'il est possible d'incliner la goulotte de contrôle de direction à un angle aigu.

Dans le cas du distributeur à tête rotative (fig. 28), le produit pénètre dans une goulotte excentrée qui tourne le long d'un axe vertical et se place au-dessus de la goulotte de distribution choisie. La pente de la goulotte interne varie de 45 à 65° par tranche de 5°. La hauteur du distributeur augmente proportionnellement à la pente de la goulotte.

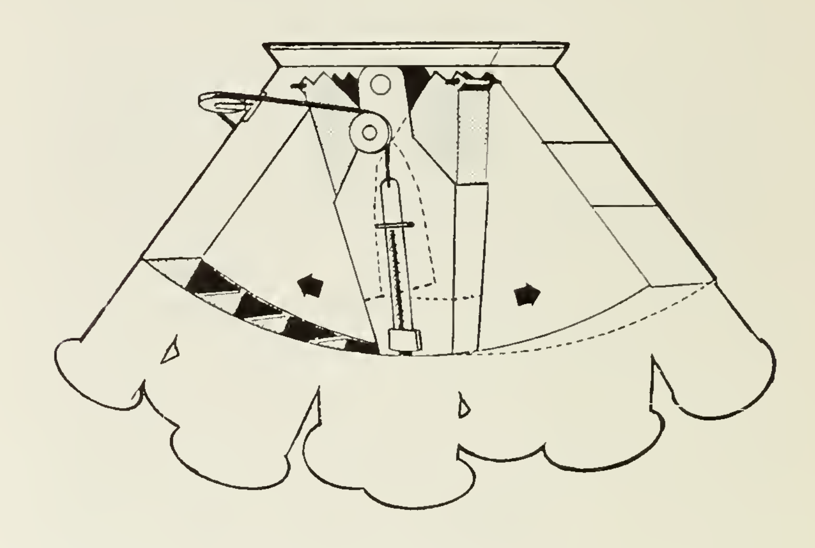


Figure 27 Distributeur pendulaire

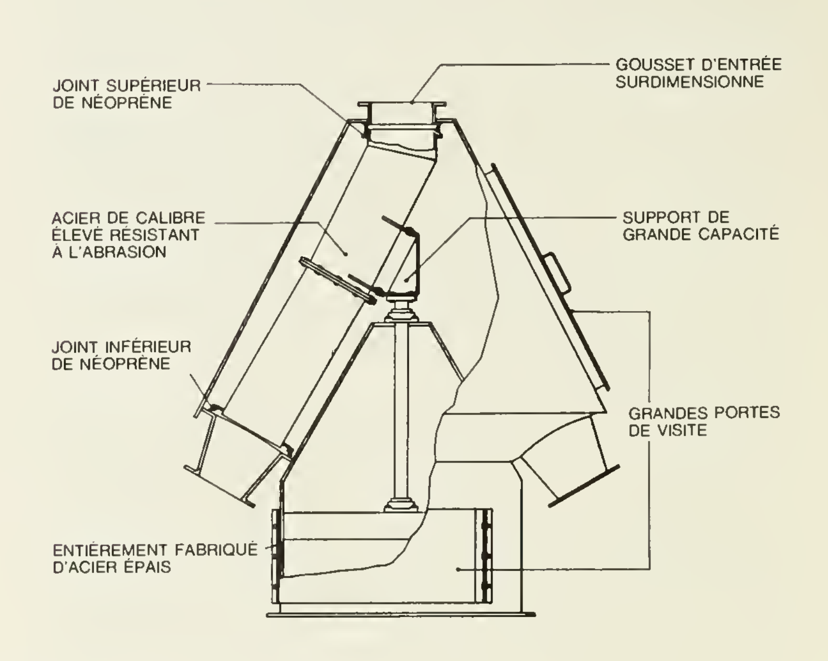


Figure 28 Distributeur rotatif

Ces deux types de distributeurs peuvent fonctionner à la main au moyen d'une manivelle et d'un câble ou à l'aide d'un motoréducteur électrique. Dans le cas des modèles à moteur, des commandes permettent de déplacer les goulottes en fonction des interrupteurs internes de fin de course.

Les distributeurs en question sont fabriqués en une vaste gamme de capacités. Il est préférable de choisir la dimension appropriée à la dimension de la goulotte d'alimentation. Consultez les documents du fabricant pour obtenir d'autres critères de sélection.

Il faut assortir les dimensions des raccords de goulottes et de distributeurs afin d'éviter les problèmes de montage sur place ou la pause de pièces de transition dispendieuses.

Il faut de plus s'assurer que les goulottes internes et les goulottes d'évacuation sont alignées. Il est possible que dans les distributeurs il y ait contamination par mélange des produits si les goulottes ne sont pas assorties. Certaines applications critiques comme la manutention des moulées et des graines de semence nécessitent un type de distributeur sur lequel sont installés des joints d'étanchéité entre la goulotte d'alimentation et la goulotte d'évacuation. De tels distributeurs sont munis d'un collet à ressort à l'endroit du raccord ou sont conçus afin que la goulotte d'alimentation s'abaisse vers la goulotte d'évacuation.

Afin d'assurer le fonctionnement et l'entretien appropriés, les distributeurs nécessitent également ce qui suit :

- portes de visite
- ouvertures de détente
- raccords de ventilation
- flasques à joints ou calfeutrés

Il existe trois facteurs précis qui influencent le choix d'un distributeur : les caractéristiques des produits qui doivent être déplacés, la vitesse initiale du produit qui est introduit dans le distributeur et la hauteur libre disponible.

En choisissant un distributeur pour une installation, il faut prévoir plus d'ouvertures de vidage qu'il n'est réellement nécessaire afin de permettre à l'avenir l'expansion des installations.

5.4 Courroies

Les courroies modernes se composent en général d'une carcasse unique de matière synthétique avec un revêtement de caoutchouc ou de chlorure de polyvinyle. Les anciennes courroies fabriquées de plusieurs couches de tissus sont de plus en plus rares en agriculture. Celles que l'on trouve aujourd'hui sur le marché sont plus résistantes, plus souples et coûtent moins cher. Il faut choisir des courroies en fonction de la résistance structurale et de la conductivité électrique ainsi que de la résistance à l'huile, au feu et à l'humidité. Les documents du fabricant fournissent en général les données sur la résistance à l'effort et sur les caractéristiques de la carcasse et du revêtement.

La série d'équations suivantes illustre la méthode mathématique de calculer la tension fonctionnelle d'une courroie.

Il faut d'abord calculer la tension efficace :

$$T_e = \frac{P_e \times 1000}{V}$$

où $T_e =$ tension efficace (N)
$P_e =$ puissance (kW)
$V =$ vitesse (m/s)

Il existe une deuxième équation qui permet de calculer la tension efficace :

$$T_e = T_1 - T_2$$

où $T_1 =$ tension de la face comprimée (N)
$T_2 =$ tension de la face lâche (N)

Calculer la tension de la face comprimée :

$$T_1 = T_e \times K_e$$

où $T_e =$ 1,5 poulie revêtue, tendeur à contrepoids
$K_e =$ 1,8 poulie revêtue, tendeur à vis

T_1 étant calculé, la tension de la face lâche (T_2) est la suivante :

$$T_2 = T_1 - T_e$$

5.5 Godets

Les godets peuvent être fabriqués de CPV, de polyéthylène, d'uréthane, de métal coulé, ainsi que d'acier doux, inoxydable, galvanisé et peint. Le coût et la durée de vie des divers godets varient grandement.

Dans bon nombre d'applications, les godets de plastique durent plus longtemps que les godets d'acier. De plus, les godets de plastique n'engendrent pas d'étincelles et réduisent la possibilité d'explosion. Par ailleurs ils sont beaucoup moins sujets à des déformations permanentes que les godets métalliques. Il est possible d'obtenir, pour certaines applications, des godets enduits de teflon, de CPV ou de silicone. Ces derniers sont surtout utiles pour la manutention de produits agglutinants.

Les fabricants offrent une gamme variée de types de godets pour élévateurs.

5.6 Goulottes

Utiliser des goulottes (ou chutes) pour contenir le matériel qui s'écoule par gravité vers le bas. Le taux d'écoulement doit être maintenu entre 0,3 et 0,45 m^3/h pour chaque centimètre carré de surface de coupe des goulottes. Il faut cependant utiliser ces données avec circonspection puisque la pente, les caractéristiques d'écoulement du produit, sa vitesse initiale et les transitions de goulottes ont un effet sur le taux d'écoulement ultime. Il est bon de tenir compte de cette règle; en cas de doute, garder la pente raide.

Le tableau 8 énumère un certain nombre de pentes de goulottes pour un nombre donné de conditions.

Les caractéristiques des produits peuvent par ailleurs avoir un effet important sur le taux d'écoulement. Par exemple, au tout début, les graines de tournesol s'écoulent facilement dans la première partie d'une goulotte inclinée à 45 °. Par la suite, l'enduit collant qu'elles laissent à l'intérieur de la goulotte bloque à la longue l'écoulement. (Il est bon de rappeler que si l'on déplace des céréales ou des pois après les graines de tournesol, ces produits nettoyeront la goulotte). Le frottement ou la friction des produits déplacés peuvent également influer sur leur écoulement dans les goulottes.

Tableau 8 Pente type des goulottes

Produit	Type de garniture	Pente type
Grain déshydraté	acier	40°
	garnitures sans frottement	37°
	caoutchouc	40°
	uréthane	40°
	céramique	45°
Grains humides	acier	50°
Produits mous et moulus		50°
Poussières		60°

Source: *Grain spouting design and maintenance*

Pendant leur conception, il faut prévoir des goulottes de section circulaires puisqu'elles exigent moins de tôle que les goulottes de section carrée. Choisir des aciers doux, ASTM A36 ou de qualité boîte à feu. Il faut également prévoir des raccords qui permettent la rotation périodique des goulottes. Ceci permet de répartir l'usure sur toute la surface interne.

Il faut tenter d'éviter les aciers qui résistent à l'abrasion pour les applications agricoles. Ils sont difficiles à souder et coûtent cher. Pour la manutention des produits agricoles très abrasifs, prévoir des goulottes de section carrée et installer des garnitures faites d'acier résistant à l'abrasion, de plastique ou de céramique.

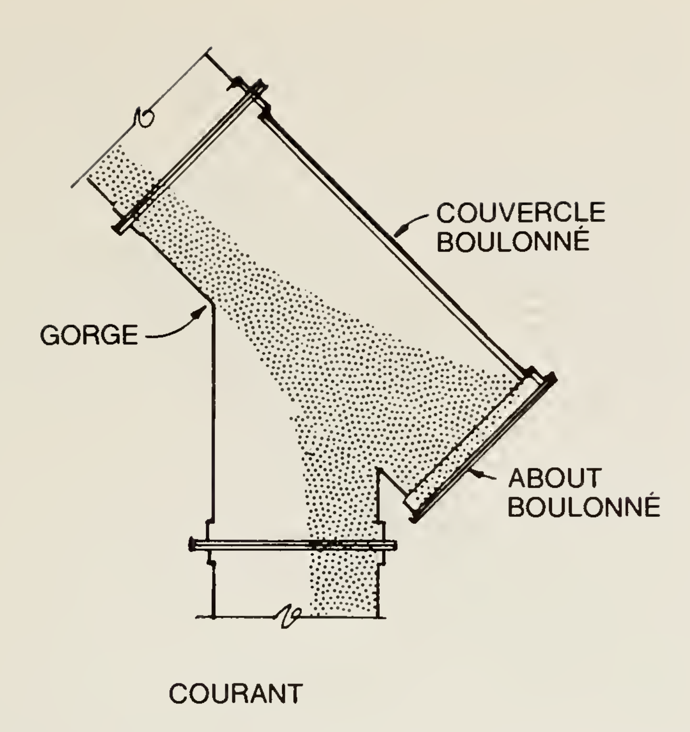
5.7 *Supports de goulottes* Dans une certaine limite, les goulottes peuvent être auto-porteuses à condition qu'elles résistent à leur propre charge gravitationnelle, au poids des produits et à la force horizontale du vent. Choisir l'épaisseur des parois de goulottes en fonction de la théorie normale des poutres telle qu'elle s'applique aux parois minces. Il faut prévoir les parois en fonction de l'usure qui tend à réduire l'épaisseur au fil du temps.

Lorsque la portée excède les limites de soutien autonome, il faut installer des supports intermédiaires ou des entretoises pour renforcer les goulottes. Les entretoises doivent être conçues en fonction de principes techniques courants. La goulotte résiste ainsi aux forces de compression et les câbles d'entretoise résistent à la tension.

Installer trois ou quatre câbles préétirés fait d'acier galvanisé qui seront équipés de tendeurs à vis pour régler la tension. Fixer les câbles au bout des goulottes et les séparer des points internes à l'aide de dispositifs d'écartement ou d'araignées. Assurer la protection des câbles contre l'abrasion là où ils passent par-dessus les bras d'araignées puisque ce sont les principaux points de charge critique. Il faut également souder des collets d'appoint aux goulottes pour prévenir le gauchissement.

Installer des goulottes avec des joints coulissants aux points de raccordement avec les distributeurs, les vannes et les compartiments (fig. 29). Ces installations permettent de compenser les déplacements qui peuvent survenir à cause des changements de température ou du tassement différentiel.

Il faut que la vitesse de déplacement des produits dans les goulottes ne dépasse pas 8,7 m/s. Réduire la vitesse de déplacement à l'aide de régulateurs d'alimentation et de bouts aveugles ou régler la pente et la longueur de la



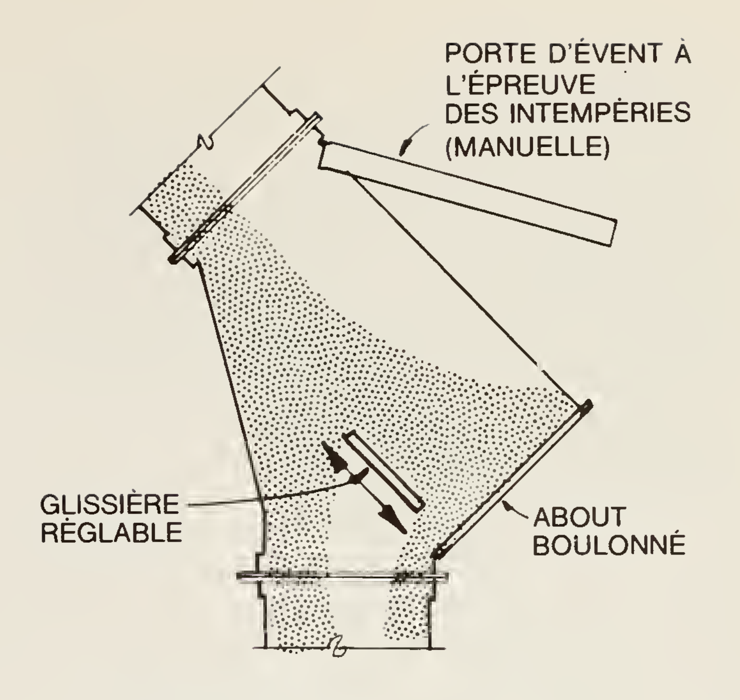


Figure 29 Bouts aveugles normaux et auto-nettoyants

goulotte (*voir* tableau 9). Ces dispositifs permettent de limiter l'usure tant de la goulotte que des coudes de vidage (fig. 30).

5.8 Sécurité des élévateurs à godets

Il faut éviter d'ouvrir les portes de visite et d'inspection pendant que l'appareil fonctionne; laisser également les gardes du moteur en place. Équiper de plus toutes les ouvertures d'alimentation et d'évacuation de grillages de protection.

Cependant, le feu et les explosions constituent le plus grand danger dans les élévateurs à godets. Il existe couramment une série de dispositifs et d'appareils de surveillance de sécurité courants qui permettent d'éviter les accidents :

- indicateurs de vitesse insuffisante : montés sur l'arbre de pied ou à l'arrière du côté brin montant de la gaine;
- indicateurs de goulotte engorgée : montés soit à la goulotte d'évacuation ou au gousset d'entrée;

Tableau 9 Pente et longueur des goulottes (°) et longueur (m) par rapport à la vitesse des grains (m/s)

Longueur de la goulotte (m)	Pente de la goulette											
	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75	80°	85°	90°
	vitesse d'écoulement du grain (m/s)											
1,5	2,0	2,7	3,15	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,0	5,1	5,3	5,5
3,0	2,9	3,8	4,4	5,0	5,6	6,0	6,4	6,7	7,0	7,3	7,5	7,7
4,6	3,6	4,6	5,5	6,2	6,7	7,3	7,7	8,2	8,6	8,9	9,2	9,5
6,1	4,1	5,3	6,3	7,1	7,7	8,5	9,0	9,5	9,9	10,3	10,7	
7,6	4,6	6,0	7,0	7,9	8,8	9,5	10,0	10,6				
9,1	5,0	6,5	7,7	8,7	9,6	10,4	11,0					
12,2	5,8	7,5	8,9	10,0	11,1							
15,2	6,5	8,4	9,9	11,2								
18,3	7,1	9,2	10,9									
21,3	7,6	10,0										
24,4	8,2	10,6										
27,5	8,7											

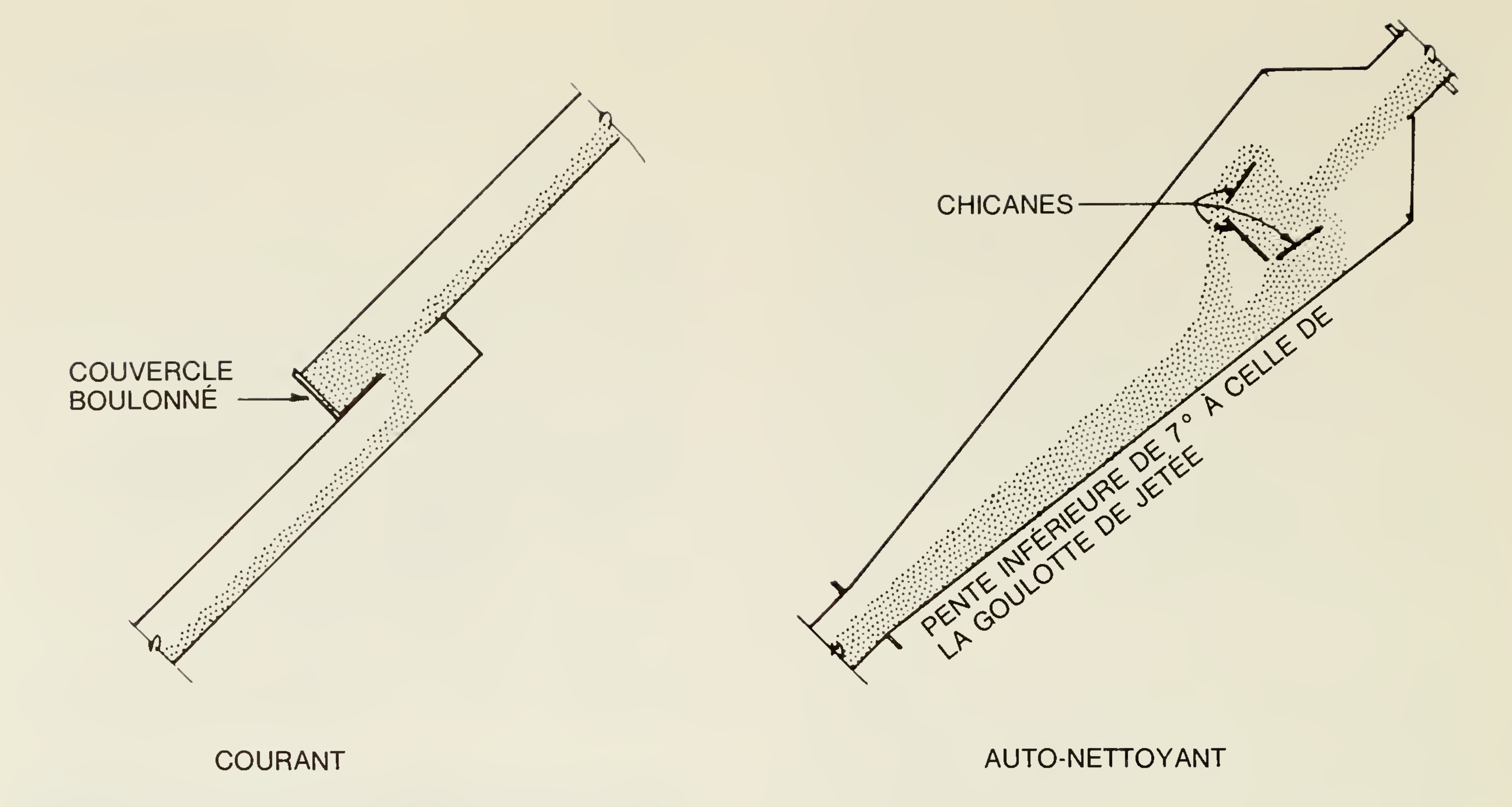


Figure 30. Régulateurs d'écoulement normaux et auto-nettoyants

- anti-dévireurs : empêchent le dévirage du brin ascendant chargé en cas d'arrêt d'urgence. Ces dispositifs permettent d'assurer que le matériel qui se trouve dans les godets ne se décharge pas dans le pied. Il permet également de simplifier les redémarrages;
- indicateurs de roulements chauds : installés à même les arbres de tête et de pied;
- ampèremètres : montés sur les dispositifs d'entraînement, ils permettent de surveiller la demande d'alimentation du moteur. Ils permettent à l'opérateur de régler le taux d'alimentation afin de prévenir la surcharge.

Il faut également éviter les dangers de blessure suivantes :

- les portes de visite ouvertes après service ou inspection. Les godets qui se déplacent à 2 ou 3 m/s dans la gaine peuvent amputer des doigts qui sont accidentellement insérés dans ces portes;
- un gousset d'entrée au point d'alimentation de l'élévateur à godet qui n'a pas été muni d'un grillage. Des bouts de bois, des planches, ou des pièces d'acier de renfort peuvent tomber dans l'élévateur.
- une courroie mal alignée. Elle s'use trop vite et accroît la demande de puissance nécessaire au fonctionnement. Le frottement qui se produit entre la gaine et la courroie ou les godets augmente le danger d'incendie par l'accroissement de température ou engendre des étincelles qui peuvent causer une explosion.

5.9 Contrôle de la détérioration des produits

La tête des élévateurs à godets modernes est en général conçue pour permettre une bonne évacuation du produit. Cependant, dans certains cas, le produit s'immisce dans la tête et se brise. Les graines de semence brisées germent mal. Le mais, les pois et les fèves sont particulièrement sujets à ce type de dommage.

Il existe un certain nombre de caractéristiques de conception qui permettent de limiter l'immixtion du grain dans la tête. Régler la hauteur du capot de tête entre la ligne centrale de l'arbre et le dessous du capot à une distance égale au diamètre de la poulie de tête plus une fois et demie la projection des godets. Il faut également que la trajectoire de vidage s'apparente le plus possible à la trajectoire du grain.

La poulie de tête doit de plus tourner à une vitesse qui avoisine la vitesse optimale d'environ 5 %. Si la vitesse est trop élevée, le grain ou la moulée ricochent sur le capot de tête et retombent dans la gaine. Une vitesse insuffisante ne permet pas aux godets de se vider complètement. Dans les deux cas, il y a accroissement de la demande de puissance et détérioration des produits.

Il faut s'attendre à ce que le choc des godets sur les grains dans le pied de l'élévateur cause un certain dommage. Cependant, des godets en matière synthétique, donc moins durs, peuvent réduire le choc. Quoique les dommages ne soient pas directement reliés à la vitesse de la courroie, les vitesses qui dépassent 2,5 m/s peuvent accroître les dommages.

La majeure partie des dommages attribués aux élévateurs à godets sont en réalité causés après que le produit a été évacué de l'élévateur. Le frottement dans les goulottes et, en particulier, le choc des grains qui tombent dans les compartiments causent plus de dommages que l'élévateur même. Il est possible de diminuer sensiblement la détérioration des grains en réduisant la hauteur de chute. Il faut, dans la mesure du possible, que la hauteur de chute soit inférieure à 12 m dans les entrepôts. Lorsque la hauteur de chute dépasse 20 m, il y a un accroissement important de la détérioration. Certains utilisateurs prétendent que des échelles à pois ou à mais réduisent les dommages causés à ces produits par le choc; cependant, les avantages qui en découlent n'ont pas été quantifiés.

RÉFÉRENCES

Agler, L.C. 1985. Grain spouting design and maintenance. GEAPS Annual International Technical Conference.

Boumans, G. 1985. Grain handling and storage. Amsterdam. Elsevier C72637100.

Ditzenberger, D. 1974. Methods of reducing grain damage in handling. GEAPS Annual International Technical Conference.

Handbook of conveyor and elevator belting. Akron : The Goodyear Tire and Rubber Company, 1982.

Larson, F.D. 1978. Transporteurs, Association canadienne des industries de l'alimentation animale.

Professional design supplement to the MWPS structures and environment handbook. Ames : Midwest Plan Service, 1978.

Protz, A. 1976. Transformation et manutention des provendes à la ferme. Agriculture Canada, Publ. 1572.

Screw conveyor engineering catalogue no. 7700. Sullivan Strong Scott, 1976.

Syntron and link-belt material handling equipement. Homer City : FMC Corporation Material Handling Equipment Division, 1983.

Technical manual, bulk materials handling. Middletown: Fenner America Ltd., 1980.